



2019

ТРУДЫ

восьмой научно-технической конференции

**Интеллектуальные системы управления
на железнодорожном транспорте.
Компьютерное и математическое
моделирование
(ИСУЖТ)**

21 ноября 2019 г.
МОСКВА



НИИАС

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

ТРУДЫ

ВОСЬМОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ.
КОМПЬЮТЕРНОЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ
(ИСУЖТ-2019)**

21 ноября 2019 года
МОСКВА

«Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование» (ИСУЖТ-2019): Восьмая научно-техническая конференция (21 ноября 2019 г., Москва, Россия) Акционерное общество «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте». Дочернее общество ОАО «РЖД» (АО «НИИАС»), 2019 г.

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)

Доснин 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.

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

УДК 656.22

Матюхин В.Г., Уманский В.И., Шабунин А.Б.

О текущем состоянии проекта ИСУЖТ и реализации технологии интервального регулирования на его платформе

Основные задачи цифровой трансформации управления перевозочным процессом.

Стоящие перед ОАО «РЖД» задачи связаны с необходимостью значительного увеличения перевозки грузов в направлении портов Дальнего Востока, Балтийского и Черного морей при одновременном росте пассажиропотока и жесткой конкуренции со стороны авто и авиатранспорта. Безусловно, радикальным методом решения подобных проблем является экстенсивное наращивание инфраструктуры, включая строительство высокоскоростных магистралей для пассажирского и контейнерного движения, строительство вторых и третьих путей, развитие станций, модернизация подвижного состава. Все эти меры не только рассматриваются, но и по мере финансовых и технологических возможностей реализуются. Однако, при планировании изменений следует иметь ввиду масштабы страны и реальные возможности компании и государства. Это мотивирует поиск революционных технологических решений, способных принести ощутимый эффект, оптимизируя использование существующей инфраструктуры и подвижного состава. Выполнить задачу можно на основе комплексного автоматического планирования и управления процессами и объектами.

Идеология реализации Интеллектуальной системы управления железнодорожным транспортом (ИСУЖТ) как цифрового двойника реального перевозочного процесса позволяет рассматривать ее в качестве основы цифровой трансформации процессов управления перевозками. Трансформация включает в себя и верхний уровень управления – управление эксплуатационной работой полигона, и нижний – автоматическое управление маршрутами и движением локомотивов. Должен быть реализован переход от ныне

практикуемого децентрализованного планирования и индивидуального ручного управления к централизованному динамическому планированию работы полигона и автоматическому выполнению принятых планов. Будучи ядром управления перевозочного процесса, ИСУЖТ обеспечивает перевод управления перевозочным процессом в двухуровневую схему: комплексное планирование работы полигона на уровне диспетчерского центра, и автоматическое исполнение принятых планов на уровне управления пропуском поездов по участкам с координацией автоматической работы локомотивов, подвязкой бригад и подчинения работы станций общим интересам полигона.

В мировой практике нет опыта реализации подобной задачи как в технологическом плане, учитывая совмещение различных видов движения на одной инфраструктуре, так и в математическом и техническом плане, учитывая размерность и связность задачи. При этом важно полностью удовлетворить запросы клиентов, максимально использовать возможности инфраструктуры и минимизировать необходимые ресурсы. Оправдывает слово «интеллектуальная» в аббревиатуре ИСУЖТ то, что планировщики ИСУЖТ замещают интеллект диспетчеров искусственным интеллектом, аккумулируя опыт лучших из них. Воплощением этой замены является иерархия динамически формируемых детальных планов эксплуатационной работы. Под общим термин «план» попадают и графики движения разного временного интервала и сменно-суточные планы поездообразования и планы подвязки тяговых ресурсов и др. План и последующий контроль его выполнения является основой и сутью любого управления. По мере ускорения и усиления зависимостей деловых процессов возрастают и требования к динамичности и комплексности планирования. В наше время это уже

не под силу диспетчерскому персоналу. И именно эта задача поставлена руководством РЖД перед ИСУЖТ.

В ИСУЖТе реализована классическая парадигма управления, в которой присутствуют фазы:

- цифрового описания инфраструктуры, процессов, подвижного состава;
- моделирование производственных процессов с использованием методов имитационного, нейросетевого моделирования, сетевые и мульти-агентные технологии;
- планирование эксплуатационной работы, используя результаты моделирования: годовое, месячное, сменно-суточное планирование работы станций и полигонов, оперативное планирование содержания инфраструктуры и пропуска поездопотока, планирование тяговых ресурсов;
- автоматическое исполнение: диспетчерское управление, исполнение технологических операций и проведение и анализ диагностики, автоматическая установка маршрутов и управление локомотивами.

Вся конструкция базируется на выверенной, полной и оперативной информации о событиях перевозочного процесса, оформленной в виде онтологии ИСУЖТ.

Критерии оптимизации управления полигоном

Критерии оптимизации работы полигона должны учитывать и интересы клиентов, связанные с объемами, сроками и стоимостью перевозки грузов, и интересы ОАО «РЖД», связанные с экономикой процесса и, соответственно, производительностью локомотивного парка, диспетчерского персонала, локомотивных бригад. Сказанное может быть сформулировано в виде:

- а) минимизация взвешенной суммы отклонений времени прибытия вагонов получателям:

$$\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{m_j} |(T_{ij}^{план} - T_{ij}^{расчет})| \gamma_{ij} + \sum_{l=1}^L \sum_{i=1}^{m_l} |(T_{il}^{план} - T_{il}^{расчет})| \gamma_{il} \rightarrow \min$$

N – число транзитных поездов на полигоне: от 1000 до 3000;

m_j – число вагонов в j поезде: до 100 вагонов;

L – количество сортировочных и грузовых станций: до 100 станций;

m_l – количество вагонов, готовых к отправке на станции l : до 5000 вагонов;

γ_{ij} – функция штрафа за отклонение от планового времени доставки (рис.1).

- б) минимизация эксплуатационных затрат на организацию перевозок при соблюдении ограничений на предоставление «окон»:

$$\left\{ \sum_{r=1}^{R_{зл}} l_r d_r + \sum_{a=1}^{R_{двн}} l_a^{двн} \beta_a + \sum_{b=1}^{R_{одн}} l_b^{одн} \rho_b + \sum_{c=1}^{R_{подм}} l_c^{подм} \omega_c \right\} + \sum_{m=1}^{M_{им}} \sum_{t=1}^{24} \sum_{n=1}^{n_t} k_{nim} \tau_n \rightarrow \min$$

При условии $\sum_{k=1}^{k_{ex}} t_k = T_{зад_k}^{окон}$

$R_{зл}$, $R_{двн}$, $R_{одн}$, $R_{подм}$ – число локомотивов во главе, двойной тяге и подталкивании, одиночном следовании, l – пройденное расстояние, $M_{им}$ – количество сортировочных и грузовых станций на полигоне, $\alpha, \beta, \omega, \rho, \tau$ – удельные затраты

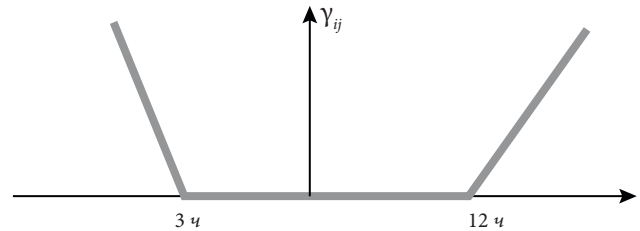


Рис.1.

Важнейшей эффектообразующей составляющей ИСУЖТ является оптимизация использования тяговых ресурсов (локомотивов и локомотивных бригад), выполняемая как на этапах его нормирования и регулирования, так и, главное, при сменно-суточном и оперативном планировании подвязки локомотивов к поездам. Главным критерием автоматического планирования является процент подвязки ресурсов к поездам: он должен достигать 100%, что означает полное обеспечение тяговыми ресурсами всех запланированных к вывозу составов. Процентом подвязки называется (выраженное в процентах) отношение суммарной длины участков поезда-маршрутов, для которых найдены ресурсы на заданном горизонте планирования t_{max} , к суммарной длине всех участков маршрутов на этом горизонте:

$$L_{t_{max}} = \frac{\sum_{T_k} \sum_{E_{ij} \in A(D_{T_k}, t_{max})} \gamma(E_{ij}) \rho(E_{ij})}{\sum_{T_k} \sum_{E_{ij} \in A(D_{T_k}, t_{max})} \rho(E_{ij})}$$

где $\gamma(E_{ij})$ – характеристическая функция подвязки поезда (равная единице, если на перегоне E_{ij} поезду T_k найден локомотив, и нулю – иначе), $\rho(E_{ij})$ – длина перегона E_{ij} (в километрах), $A(D_{T_k}, t_{max})$ множество перегонов, которые попадают в расписание в течение горизонта t_{max} .

Вторым по значению критерием качества плана является среднесуточная производительность локомотива, выражающаяся в количестве грузо-километров, вывозимых средним по парку локомотивом в сутки:

$$U_{loc} = \frac{\sum_{L_m} \sum_{E_{ij} \in A(D_{L_m}, t_{max})} \delta(E_{ij}) \rho(E_{ij})}{N_{loc}}$$

где $\delta(E_{ij})$ – характеристическая функция производительности локомотива (равная единице, если на перегоне E_{ij} локомотив L_m работал с поездом, и нулю – иначе). Требуется найти условный экстремум:

$$U_{loc} \rightarrow \max, L_{t_{max}} = 100\%.$$

Пример алгоритмически эффективного решения данной задачи есть в работах [1,2].

Функциональность ИСУЖТ

Новое качество планирования и управления, приносимое ИСУЖТ, связано с возможностями автоматического оперативного расчета всех необходимых исполнимых планов и наличием механизмов их принудительной реализации. Отсутствие данных возможностей вынуждало управленцев заранее рассчитывать существенно более обобщенные планы, которые не могут учитывать конкретное текущее состояние инфраструктуры, задания на погрузку, наличие тяговых ресурсов, погодного фактора, форс-мажорных обстоятельств. В этом случае, управление перевозочным процессом расщепляется на множество самостоятельных центров принятия решений, каждый из которых действует в соответствии со своей целевой функцией. Прежде всего это касается работы станций, которые формируют составы и выполняют пропуск транзитного поездопотока, слабо коррелируя этот процесс с общими задачами полигона. Не в меньшей степени это относится и к планированию использования локомотивов и бригад.

При планировании работы полигона первоначальным важным этапом является построение совокупности графиков движения – нормативного, вариантного и оперативного суточного. Главная задача при построении нормативного графика – определить максимально возможную пропускную способность полигона с учетом ограничений на межпоездной и межстанционный интервалы и наличное путевое развитие. При построении вариантного графика главным является пространственно-временная оптимизация расположений заявленного объема «окон» с сохранением необходимой пропускной способности. Для этого используется построение створа «окон», пакетирование поездов, назначение приоритетов, учет возможности рабочей техники выполнить ремонты.

Центральным функционалом ИСУЖТа является сменно-суточное планирование работы полигона в части суточных размеров движения по техническим станциям. План строится с использованием метода оптимального потока на графе. Основной задачей алгоритма является пропустить через граф весь фактический поток вагонов, достигнув при этом оптимального значения таких показателей, как маршрутная скорость и средний простой транзитного вагона (на I этапе). Оптимизация этих параметров достигается за счёт распределения вагонопотока по инфраструктуре (между станциями) и распределения по временным периодам.

Вершины ресурсной сети – развертка разных станций (по вертикали) вдоль оси времени (по горизонтали).

Ребра сети – это агрегация ниток (диагонали) и емкости (горизонтالي) станций (рис.2).

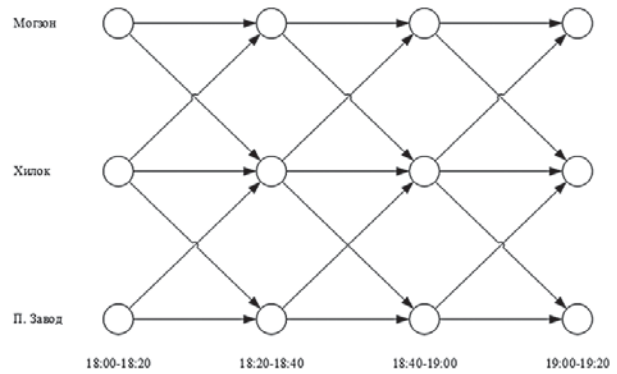


Рис.2.

Алгоритм позволяет моделировать погрузку вагонов и формирование поездов, корректно обрабатывать встречные поездопотоки (рис.3).

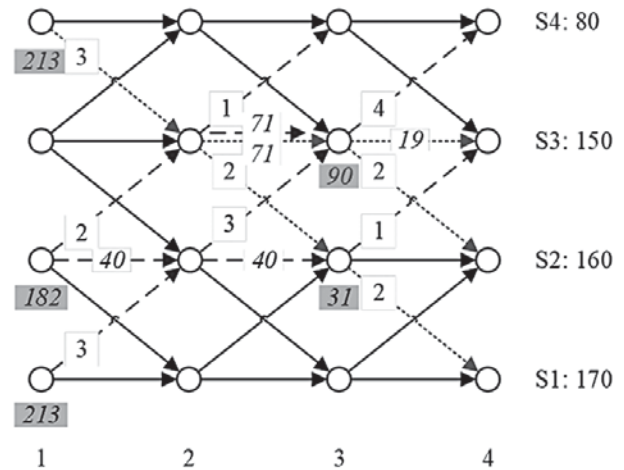


Рис.3.

В процессе поиска алгоритм умеет отменять принятые решения и обходить места с недостаточной пропускной способностью (рис.4.)

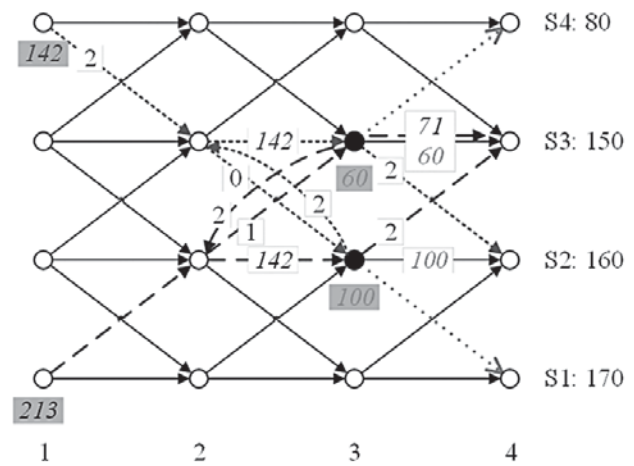


Рис.4.



Рис.5.

Результатом решения является план перевозок с максимальным для данной инфраструктуры и дорожной ситуации значением вагонопотока на сутки, хорошей маршрутной скоростью поездов и минимальным средним простоем поезда на станции.

На основе сменно-суточного плана работы полигона и актуального графика движения поездов происходит распределение тяговых ресурсов с соблюдением требований о техническом обслуживании и законодательства о графике работы локомотивных бригад, управление локомотивным парком и бригадами в части нормирования, регулирования и сменно-суточного и оперативного планирования, в ходе которого выполняется поиндексная подвязка тяговых ресурсов к поездам и назначение конкретных бригад, при этом основой является выполненное сменно-суточное планирование работы полигона.

Комплексы задач ИСУЖТ включают:

- управление тяговым хозяйством отрасли, включая годовое, квартальное, месячное и декадное управление содержанием бригад и локомотивов, планирование проведения ремонтов и технического обслуживания;
- автоматизированное диспетчерское управление пропуском поездов по участкам с разрешением конфликтных ситуаций, установкой маршрутов и с передачей графиков движения и предупреждений на борт локомотивов, включая автоматизацию ведения журнала диспетчерских распоряжений, гарантированную доставку распоряжения на АРМ ДСП и использование электронной подписи как на стороне поездного диспетчера, так и дежурного по станции;
- автоматизация ведения станционных технологических процессов и имитационное моделирование работы станций и участков с учетом взаимодействия движения подвижного состава с системами СЦБ, координатного описания объектов инфраструктуры, детального описания технологии работы;

- общесистемные задачи ИСУЖТ – интеграционная платформа, онтология, НСИ, обмен данными с внешними системами (ВИВСД), информационная и кибербезопасность.

В перспективе необходимо будет реализовать автоматическое управление станционными технологическими процессами, включая автоматическое формирование маршрутов, беспилотное вождение локомотивов, комплексную автоматизацию сортировочной работы и технологических операций.

Важно подчеркнуть основную функцию ИСУЖТ – обеспечить взаимосвязь всех компонент перевозочного процесса. В ходе планирования и дальнейшего управления идет непрерывный обмен информацией, что обеспечивает адаптацию к изменению внешней среды.

Максимально полно цифровая трансформация управления перевозочным процессом выполнена при организации движения поездов на МЦК, где инновационные технико-технологические решения ИСУЖТ обеспечивают формирование единого источника оперативной информации о работе участка – станции – перегона и на этой основе (рис.5.):

- сквозную автоматизацию процессов планирования и управления всеми технологическими фазами перевозочного процесса на единой консолидированной платформе;
- сквозной автоматизированный контроль режимов исполнения технологических процессов управления эксплуатационной работой;
- использование функций искусственного интеллекта при планировании и реализации утвержденных планов работы МЦК;
- использование интеллектуальных алгоритмов построения плана пропуска поездов, реализованных в диспетчерском управлении АСУ МЦК;
- реализацию полномасштабного комплекса мер обеспечения информационной безопасности.

Литература:

1. V. G. Matyukhin, A. B. Shabunin, N. A. Kuznetsov, and A. K. Takmazian. Rail transport control by combinatorial optimization approach. In 11th IEEE International Conference on Application of Information and Communication Technologies. Conference Proceedings, volume 1, pages 419–422, Moscow, 2017. Russia.
2. Такмазян А. К., Шабунин А. Б. Приложение метода оптимального сетевого потока к задаче подбора локомотивов для грузовых поездов на Восточном полигоне // Вычислительные технологии. — 2018. — Т. 23, № 6. — С. 94–106. doi: 10.25743/ICT.2018.23.6.009.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

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



УДК 519.178

Жилякова Л.Ю.

Применение теоретико-графовых методов и алгоритмов в задаче об оптимальном назначении локомотивов¹

1. Введение

Задача оптимального подбора локомотивов для осуществления заданного графика перевозок на линейном участке железной дороги решается различными методами. В данной работе предложен новый подход, использующий статические графовые алгоритмы. Главным его преимуществом является то, что в задаче без ограничений он обладает невысокой сложностью; кроме того, при модификации графа, описанной в данной работе, этот подход применим и к задаче с ограничениями на локомотивы. В общем случае, даже для полностью известного графа задача с ограничениями имеет экспоненциальную сложность, а при использовании динамических алгоритмов зачастую является неразрешимой. Так, модель, предложенная нами в [1], подходит только для задачи без ограничений и для узкого класса ее обобщений. Методы, предложенные в настоящей работе, позволяют находить решение в условиях ограничений, если оно существует, и существенно снижают вычислительную сложность. В общем случае, поиск оптимального решения сведен к поиску взаимно непересекающихся путей в ациклическом графе.

Теоретико-графовые и сетевые алгоритмы применяются для решения широкого круга задач [2, 3]; к наиболее полно разработанному классу относятся различные варианты потоковых моделей, начиная с классической статической задачи нахождения максимального потока Форда–Фалкерсона [4]. Задача оптимизации потока решается также методом проталкивания предпотока [5]. Существует большое количество расширений потоковой модели: динамические, мультипродуктовые, мультистоковые сети и др. Ряд задач предполагает, что не все дуги графа одинаково проходимы, в таких задачах используются графы с нестандартной достижимостью [6]. К задачам комбинаторной оптимизации, решаемым с помощью потоковых моделей, относятся задачи о составлении расписаний, о максимальных паросочетаниях, о паросочетаниях с минимальным расстоянием, транспортная задача и другие [7 – 9]. Модели и алгоритмы назначения локомотивов описаны в работах [10, 11]. План назначений, оптимальный по использованию тяговых ресурсов, построен в работах [12, 13]; в них впервые предложена и реализована идея построения плана перевозок на основе ресурсного графа, вло-

¹ Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проекты 17-20-01180 офи_м_РЖД, 17-07-00541а)

женного в плоскость графика поездов. В этих работах предложено решение задачи подвязки локомотивов к грузовым поездам на Восточном полигоне РЖД. Однако применяемые в работе методы в некоторых случаях не позволяют построить полную подвязку в условиях дефицита локомотивов, даже если она существует.

Настоящее исследование является продолжением ряда работ (в частности, [1]), в которых были предложены динамические алгоритмы для решения задачи оптимальной подвязки. Их основным недостатком является нехватка информации о будущих состояниях системы. Применение теоретико-графовых методов на полностью известном графе значительно уменьшает алгоритмическую сложность решения; кроме того делает возможным нахождение решения при наличии различного рода ограничений. Первые подходы к построению предложенной модели описаны в [14].

2. Описание модели

2.1. Основные понятия

Все основные понятия, представленные в данном разделе, сформулированы в статьях [12, 13].

Рассматривается линейный участок железной дороги с k станциями $S = \{S_0, \dots, S_k\}$. Станции линейно упорядочены по их расположению.

Будем рассматривать графиковую пространственно-временную плоскость, в которой на оси времени заданы дискретные значения: $T = \{1, 2, \dots, T_{fin}\}$, где T_{fin} – заданный горизонт планирования.

Множество составов и их траекторий движения $Tr = \{Tr_1, \dots, Tr_n\}$ будем называть локо-слотами.

Множество локомотивов $L = \{L_1, \dots, L_m\}$.

Начальное положение составов и локомотивов задается отображениями:

$$f_{Tr_start}: Tr \rightarrow (T, S); f_{L_start}: L \rightarrow (T, S).$$

Целевое состояние для составов задается отображением:

$$f_{Tr_goal}: Tr \rightarrow (T, S).$$

Будем полагать, что скорости локомотивов одинаковы и равны v . С этой же скоростью движутся составы. Тогда локо-слот представляет собой отрезок на графиковой плоскости, образующий угол с осью абсцисс, тангенс которого может быть равен двум значениям: v и $-v$, в зависимости от направления движения состава.

Задача состоит в том, чтобы осуществить оптимальную подцепку для заданного графика и заданного множества локомотивов. Под «оптимальностью» мы будем понимать наименьшее число локомотивов, а также минимальное суммарное время их простоя и движения порожняком.

2.2. Метод построения ациклического графа

У каждого локомотива кроме начального состояния есть дополнительные характеристики: домен (до-

пустимая область тяги) и время работы (расстояние по времени до ближайшей профилактики) [12, 13]. Если время профилактики локомотива лежит за горизонтом событий, будем считать, что оно не влияет на планирование.

Все ограничения локомотива: пространственные, временные, а также ограничения скорости – можно представить в виде геометрического места точек на графиковой плоскости. В общем виде, GMT каждого локомотива L_i представляет собой конус достижимости $Cone(L_i)$ [1], с пространственно-временными ограничениями. В каждой точке плоскости можно определить, для каких локомотивов она будет достижимой. Для локомотива L_i без ограничений, расположенного в точке (T_i, S_i) , $Cone(L_i)$ задается системой неравенств:

$$\begin{cases} s - S_j \leq v(t - T_i); \\ s - S_j \geq -v(t - T_i). \end{cases}$$

Внутри конуса достижимости лежат все локо-слоты, доступные из его вершины. Пространственные ограничения задаются горизонтальными отрезками, временные – вертикальными. Геометрическое место точек, задающее все возможные перемещения локомотива, является усеченным конусом (по-прежнему будем называть его конусом достижимости).

Процесс построения ациклического графа заключается в следующем.

1. На графиковой плоскости для всех локомотивов строятся конусы достижимости.
2. Из правых (целевых) концов всех локо-слотов, кроме тех локо-слотов, правее которых не лежит никакой другой локо-слот, также строятся конусы достижимости.
3. Строится граф вложенности. Вершинами графа являются локо-слоты. Две вершины связаны дугой, если конус начальной вершины целиком содержит в себе локо-слот, соответствующий конечной вершине. Дуги строятся от локомотивов к локо-слотам или от локо-слотов к другим локо-слотам.

Построенный граф вложенности является ациклическим. Покажем, что задача нахождения оптимальной подвязки эквивалентна задаче нахождения минимального покрытия простыми путями в ациклическом графе.

3. Минимальное покрытие ациклического графа

Задача о нахождении минимального покрытия ациклического графа простыми путями за полиномиальное время была решена в середине прошлого века (см., например, [15]). Одним из основных ее практических приложений стала оптимизация программного кода.

Доказано, что, в общем случае, задача о нахождении оптимального покрытия ориентированного графа простыми путями, не пересекающимися по вершинам, является NP-сложной. Однако для ациклического графа было найдено изящное решение, сводящее эту задачу к задаче поиска максимального паросочетания в двудольном графе.

Определение 1. Пусть $D=(V_p, X_i)$ – орграф. Множество $\{D_1, \dots, D_k\}$ подграфов D , где $D_i=(V_p, X_i)$ называется покрытием, не пересекающимся по вершинам, если подмножества V_i являются разбиением множества вершин графа, т.е. их попарные пересечения пусты, а объединение составляет всё множество вершин.

Определение 2. Покрытие орграфа D называется покрытием путями, если все подграфы D_i – пути.

Определение 3. Числом покрытия орграфа $\zeta(D)$ называется размер его минимального покрытия путями.

Поскольку дуги в нашей модели соответствуют вложенности конусов, их можно считать дугами потенциально возможных перецепок. Тогда, если свести задачу об оптимальном назначении локомотивов к поиску покрытия путями графа вложенности, то число покрытия $\zeta(D)$ будет соответствовать минимальному необходимому числу локомотивов, а максимальное число дуг будет означать их оптимальное использование.

Доказано, что задача нахождения минимального покрытия путями сводится к задаче поиска максимального паросочетания на двудольном графе, полученном из ациклического графа D разделением каждой вершины на две части: первая часть содержит только выходные дуги и входит в первую долю двудольного графа, а вторая содержит только входные дуги и принадлежит второй доле.

4. Решение задачи без ограничений

Дадим формальное определение графа вложенности (будем строить этот граф только для локо-слотов, без локомотивов).

Определение 4. Граф вложенности $G = (N, E)$ – это ориентированный ациклический граф, в котором каждая вершина i соответствует локо-слоту Tr_i , а дуги соответствуют отношению вложенности конусов достижимости.

Само построение графа G позволяет представить его в виде послойной структуры. Вершины, соответствующие локо-слотам «источникам», то есть, не вложенным ни в какие другие конусы, находятся в слое 1; вершины, вложенные в конусы локо-слотов слоя 1 (и не вложенные ни в какие иные конусы), находятся в слое 2 и т.д. Формальное определение слоя графа вложенности локо-слотов зададим рекурсивно.

Определение 4. Все вершины графа вложенности G , не имеющие входящих дуг (вершины-источники),

принадлежат слою T_1 . Слою T_k содержит все вершины i (и только их), имеющие путь длины 1 до слоя T_{k-1} .

Минимальное вершинное покрытие послойного графа простыми путями определит наименьшее возможное количество локомотивов и оптимальный план перецепок. Если дуги графа, соответствующие перецепкам, взвешены, т.е. заданы штрафы локомотивов за простой или движение порожняком, то будет найдено оптимальное по весам решение.

При заданном множестве локомотивов задача заключается в том, чтобы приписать локомотив каждому из полученных путей графа. Построим двудольный граф, в одной доле которого будут локомотивы, а в другой – пути. Дуги в этом графе соответствуют вложенности конуса первой вершины пути в конус соответствующего локомотива. Таким образом, необходим еще один шаг по определению максимального паросочетания. Если каждому пути будет приписан локомотив, задача имеет глобально оптимальное решение.

Структура послойного графа удобна тем, что сразу дает ответ о минимальном количестве локомотивов, необходимых для осуществления всех перевозок. Проверку некоторых условий существования решения можно осуществить еще до построения минимального вершинного покрытия.

Утверждение 1. (Необходимое условие существования полной подцепки) Для того чтобы все перевозки были осуществлены, необходимо, чтобы в каждом слое послойного графа было не более m вершин, где $m = |L|$ – число локомотивов.

Следствие 1. Минимальное количество локомотивов, необходимое для осуществления заданного графика, находится как $\max_{i=1, \dots, p} |T_i|$, где p – количество слоев его графа вложенности.

5. Решение задачи с ограничениями

5.1. Введение индексов локомотивов

Временные ограничения, наложенные на локомотивы, делают не все пути в графе вложенности допустимыми. Это усложняет поиск оптимального решения, и даже ответ на вопрос о существовании подцепок для найденного вершинного покрытия становится неочевидным.

Введем дополнительные характеристики вершин графа вложенности. Каждой вершине будем приписывать индексы, соответствующие номерам локомотивов, способных осуществить перевозку данного локо-слота.

В задаче без ограничений множество индексов вершин каждого последующего слоя является объединением индексов их родителей. Поэтому достаточно поставить в соответствие локомотив начальной вершине каждого пути, и этот локомотив гарантированно осуществит все последующие перевозки по цепочке вло-

женности. Если локомотивы имеют временные ограничения, такой алгоритм перестает работать.

В задаче с ограничениями при построении графа вложенности первый этап остается таким же: строится вершинное покрытие графа простыми путями. Однако поскольку некоторые локомотивы имеют ограничения, недостаточно найти паросочетания между началами всех путей из найденного минимального вершинного покрытия и локомотивами. Не каждая последовательность перевозок, составляющая простой путь, может быть осуществлена целиком некоторым локомотивом с ограничениями.

Для того чтобы стало возможным корректное приписывание локомотивов полученному вершинному покрытию, необходимо и достаточно, чтобы соответствующий ему индекс «протекал» из начальной вершины в конечную. Соответственно, не каждое решение задачи без ограничений является таковым для задачи с ограничениями. Поэтому, необходимо осуществить проверку найденного решения на допустимость. Если решение допустимо, оптимальный план подцепок построен. В случае если найденные пути удовлетворяют задаче без ограничений для данного множества локомотивов, но не удовлетворяют задаче с ограничениями, нужно осуществить модификацию решения, если это возможно.

5.2. Проверка на допустимость

Проверка найденного решения на допустимость осуществляется следующим образом. Пусть в послойном графе вложенности построено минимальное покрытие простыми путями. Построим новый трехслойный граф. В среднем слое расположим вершины, каждая из которых представляет собой путь в найденном покрытии. В верхнем и нижнем слоях расположены вершины-локомотивы. Соединим эти слои следующим образом. Из верхнего слоя в средний ведут дуги, соединяющие локомотивы с теми путями, в начальных вершинах которых присутствуют соответствующие индексы. Из нижнего слоя в средний ведут дуги, соединяющие локомотивы с теми путями, в конечных вершинах которых присутствуют соответствующие индексы.

Допустимыми являются только те подцепки, для которых в этом графе есть дуги от одноименных вершин сверху и снизу в средний слой. После того, как непарные дуги удалены, получается граф, симметричный относительно среднего слоя. В силу симметричности, нижний слой можно отсечь. Тогда решение задачи с ограничениями сведется к поиску паросочетания в полученном двудольном графе, содержащего все вершины, соответствующие путям. Если число путей и локомотивов одинаково, паросочетание должно быть совершенным.

Если совершенного паросочетания не существует, должен быть предложен алгоритм, позволяющий «исправить» все недопустимые пути в найденном минимальном покрытии, обладающий невысокой вычислительной сложностью.

5.3. Исправление покрытия

Для исправления найденного покрытия предложен алгоритм, состоящий из повторения двух введенных операций: кроссинговера и переключения. Кроссинговер, по аналогии с генетическими алгоритмами, позволяет двум или нескольким путям обмениваться гомологичными участками. Количество путей в покрытии при этом остается прежним. Переключение разбивает недопустимый путь на два более коротких, один из которых гарантированно допустим. Если для данного переключения существует сопереключение еще одного пути, количество путей в покрытии не увеличивается. В противном случае, появляется дополнительный путь. Если имеется свободный локомотив, делающий этот путь допустимым, будет найдено оптимальное решение. Если такого локомотива не существует, новое решение гарантированно улучшает первоначальное.

Вводится понятие расстояния между путями. Предложен эвристический алгоритм исправления покрытия, который находит допустимое решение, если расстояние от недопустимого пути до исправляющего его пути не более единицы.

6. Заключение

В работе представлена графовая интерпретация задачи об оптимальном назначении локомотивов для перевозок на линейном участке железной дороги. Строится послойный граф вложенности. Модель структурируется таким образом, чтобы понизить сложность алгоритма поиска решения. Предложен статический алгоритм, находящий решение для локомотивов без ограничений за полиномиальное время. Доказана полнота этого алгоритма.

В случае наличия ограничений, разработаны методы проверки найденного решения на допустимость, а также исправления недопустимых цепочек перецепок.

Литература:

1. Жиликова Л.Ю., Кузнецов Н.А., Матюхин В.Г., Шабунин А.Б., Такмазян А.К. Графовая модель распределения локомотивов для грузовых перевозок на линейном участке железной дороги. Задача о максимальном по включению покрытии графика // Проблемы управления, 2018, № 3, с. 65–75. DOI: <https://doi.org/10.25728/pu.2018.3.9>
2. Ahuja, R.K., Magnanti, T.L., Orlin, J.B. Network Flows: Theory, Algorithms, and Applications. Prentice Hall, United States, 1993.

3. Седжвик Р. Фундаментальные алгоритмы на C++. Алгоритмы на графах. ДиаСофтЮП, 2002. – 496 с.
4. Форд Л.Р., Фалкерсон Д.Р. Потoki в сетях. Пер. с англ. – М.: Мир, 1996. – 334 с.
5. Кормен, Т., Лейзерсон, Ч., Ривест, Р., Штайн, К. Алгоритмы: построение и анализ. – изд. 2-е. — М.: Вильямс, 2005. – 1296 с.
6. Ерусалимский Я.М. Потoki в сетях с нестандартной достижимостью // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Ест. науки. 2012. № 1. – с.5-7
7. Адельсон-Вельский Г.М., Диниц Е.А., Карзанов А.В. Потокoвые алгоритмы. – М.: Наука, 1975. – 119 с.
8. Лазарев А.А., Гафаров Е.Р. Теория расписаний. Исследование задач с отношениями предшествования и ресурсными ограничениями. / Научное издание. Вычислительный центр им. А.А. Дородницына РАН. 2007. – 80 с.
9. Ловас Л., Пламмер М. Прикладные задачи теории графов. Теория паросочетаний в математике, физике, химии: Пер. с англ. – М.: Мир, 1998. – 653 с.
10. Ahuja R.K., Liu J., Orlin J.B., et al. Solving real-life locomotive scheduling problems // Transportation Science. – 2005. – Vol. 39, N 4. – P 503–517.
11. Jaumard B., Tian H. Multi-Column Generation Model for the Locomotive Assignment Problem // Proc. of 16th Workshop on Algorithmic Approaches for Transportation Modelling, Optimization, and Systems (ATMOS'16). – 2016. – P. 6:1–6:13.
12. V. G. Matyukhin, A. B. Shabunin, N. A. Kuznetsov, and A. K. Takmazian. Rail transport control by combinatorial optimization approach. In 11th IEEE International Conference on Application of Information and Communication Technologies. Conference Proceedings, vol. 1, P. 419–422,.
13. Такмазьян А.К., Шабунин А.Б. Приложение метода оптимального сетевого потока к задаче подбора локомотивов для грузовых поездов на Восточном полигоне // Вычислительные технологии. 2018. Т. 23. № 6. С. 94-106. DOI: 10.25743/ICT.2018.23.6.009
14. Жилиякова Л.Ю. Построение многополюсной сети в задаче назначения локомотивов для грузовых железнодорожных перевозок на линейном участке / Труды 13-го Всероссийского совещания по проблемам управления (ВСПУ XIII, Москва, 2019). М.: ИПУ РАН, 2019. С. 3214-3219.
15. Boesch F.T., Gimpel J.F. Covering the points of digraph with point-disjoint paths and its application to code optimization. J. of the Association for Computing Machinery. 1977. Vol. 24. No 2. P. 192-198.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

- **Жилиякова Людмила Юрьевна**
Москва, ИПУ РАН, и.о. заведующего лабораторией, ведущий научный сотрудник, доктор физико-математических наук, zhilyakova.ludmila@gmail.com



УДК 656, 004.89, 656.052

Розенберг И.Н., Цветков В.Я.

Пространственная логика при управлении транспортом

Введение

Пространственная логика, как и обычная логика, частично математическая логика, относятся к качественным рассуждениям. При управлении подвижными объектами все большие требования предъявляются к пространственному анализу ситуаций в процессе движения. При управлении ситуациями с высокой динамичностью человеческий интеллект не в состоянии принять адекватное решение. В этом случае приходится прибегать к использованию алгоритмов и логических методов анализа пространственной ситуации. Понятие пространственной ситуации является ключевым для пространственной логики. Основными задачами пространственной логики являются:

1. оперативный анализ пространственной ситуации;
2. сравнительный анализ состояния объекта управления;
3. прогнозирование развития ситуации на основе анализа информации;
4. моделирование альтернатив;
5. прогнозирование последствий принимаемых решений на основе логического анализа;
6. экспертная оценка принимаемых решений.

Основной целью применения пространственной логики является повышение эффективности управления движением и обеспечение безопасности движения.

Необходимость применения пространственной логики

Объективность и своевременность логического анализа информации позволит в кратчайшие сроки выбрать оптимальное решение, мобилизовать имеющиеся ресурсы на устранение последствий нарушения перевозочного процесса. Одним из средств поддержки пространственной логики спутниковые технологии и данные дистанционного зондирования Земли (ДДЗ). Они дополняются данными с мобильных комплексов, включающих в себя комплекты телевизионных камер различного назначения, аппаратуру обработки видеоизображения и передачи информации в ситуационный центр при помощи разных каналов связи. Это позволяет повысить достоверность информации, поступающей в центр анализа. Применение методов про-

странственной логики позволяет сократить загрузку работников управленческого аппарата.

Все эффекты, имеющие место при использовании пространственной логики, можно разделить на две группы: количественные и качественные. Количественные эффекты создают сокращение затрат при решении сложных задач; качественные эффекты означают улучшение качества работы, снижение напряженности работы оперативных диспетчеров и аналитиков. Технологическое направление пространственной логики состоит в разработке методов и алгоритмов анализа, снижающего нагрузку на ЛПР. Современная пространственная логика использует информационный подход, информационные методы обработки информации.

Логический анализ

Анализ принимаемых решений подразделяют на качественный, логический, количественный и системный. Анализ принимаемых решений, как правило, строится на анализе ситуации или нескольких связанных ситуаций. Поэтому по существу такой анализ является ситуационным. Формально логический анализ включает два этапа. Первый этап заключается в построении логических информационных конструкций в виде связанных последовательностей и качественного оценивания. Эти конструктивные последовательности впоследствии могут быть описаны логическими выражениями, математическими формулами или топологическими конструкциями.

Второй этап анализа включает детальное исследование качественного содержания конструктивной последовательности и применение к ней математического или логического анализа. При этом используют понятие рассуждения. Однако может случиться, так что качественная оценка уже позволяет принять решение или начать его формирование.

Логический процесс получения знаний называется *рассуждением или умозаключением*. Рассуждение обычно включает логическую цепочку. Логическая цепочка может опираться на математический формализм, или логический формализм. Построение гипотезы при проведении логического анализа строится на условии каузальной полноты. Если гипотеза объясня-

ет исследуемую ситуацию с учетом всех параметров, то имеет место казуальная полнота и гипотеза является полной.

Частные гипотезы описывают отдельные свойства объектов. Они могут объяснить наличие свойства P у объектов, для которых не было изначально известно о его наличии. Гипотеза A называется казуально полной, если она есть конъюнкция параметров ситуации или их отрицаний. Параметры ситуации могут быть негативными и позитивными. Штатная ситуация содержит позитивные параметры и отрицание негативных параметров. Следствием A называют формулу C .

$$(A \rightarrow C) \equiv I.$$

Логическая гипотеза задает обязательность, а логическое следствие задает возможность. Если A — гипотеза формулы B , то $A \wedge C$ есть тоже гипотеза формулы B . Если A — следствие формулы B , то $A \vee C$ есть тоже следствие из B . Если A и B — гипотезы формулы C , то $A \vee B$ — тоже гипотеза для C . Если A и B — следствия из C , то $A \wedge B$ — тоже следствие из C .

Логическая цепочка считается правильной, если между посылками и заключением имеет место *отношение логического следования*. В логике умозаключения делятся на: дедуктивные индуктивные и абдуктивные. В дедуктивных умозаключениях связи между посылками и заключением представляют собой формально-логические законы, в силу чего при истинных посылках заключение всегда оказывается истинным.

В индуктивных умозаключениях между посылками и заключением имеют место такие связи, которые обеспечивают получение только правдоподобного заключения при истинных посылках. В этих рассуждениях посылки лишь подтверждают заключение. В процессе рассуждения иногда за дедуктивные принимают умозаключения, которые таковыми не являются. Последние называют неправильными, а (собственно) дедуктивные — правильными. Логический анализ позволяет не только оценить на истинность и ложность логической цепочки, но и показать принципиальную возможность вывода или совокупности формул, не совершая сам вывод. Доказательство выводимости входит в логический анализ.

Пространственная логика

Пространственной логикой (spatial logic) [1] называют раздел логических рассуждений, связанный с закономерностями пространственных отношений как элементов или единиц рассуждений. Пространственная логика тесно связана с когнитивной графикой, пространственными рассуждениями [2, 3] и с визуальным моделированием. Широта применения пространственной логики велика по сравнению с ее формальной трактовкой.

Пространственную логику применяется при интерактивной обработке информации с применением САПР или ГИС. Пространственная логика используется в психологии как метод пространственного мышления и восприятия мира [4]. Это подчеркивает ее связь с ситуационными центрами. Пространственная логика имеет свои визуальные языки. Языком пространственной логики называют формальный язык [5], интерпретируемый над классом пространственных моделей и структур. Язык пространственной логики описывает реальные пространственные объекты и пространственные отношения, включая геореференцию. В таком формальном языке может использоваться любой логический синтаксис: синтаксис логики первого порядка, некоторый фрагмент логики первого порядка или логики высшего порядка. Структуры, над которыми интерпретируется язык пространственной логики, могут находиться в любом классе геометрических «пространств»: топологических, аффинных, проективных, в Эвклидовом 3-мерном пространстве и др. Пространственных языков может быть много, как видов пространственных логик. Поэтому пространственная логика может быть рассмотрена как семейство пространственных логик.

Пространственная логика включает несколько крупных разделов: геометрическая логика, топологическая логика, теоретико-множественная логика, образная логика, визуальное моделирование (область технического зрения [6] и искусственного интеллекта), фотограмметрическое моделирование, получение пространственных знаний (область искусственного интеллекта). Геометрическая логика используется в геометрических построениях и геометрических доказательствах. Общим для пространственных логик является то, что логическое понятие действительности зависит от базовых пространственных структур и аксиом. Пространственная логика применяется в образовании, где она сопрягается с когнитивными изображениями. Пространственная логика применяется в виртуальном моделировании, где опирается на логику поведения в реальном пространстве. Обобщая применение пространственной логики, следует отметить ее значение для методов искусственного интеллекта, поскольку она позволяет моделировать рассуждения, которые можно использовать в интеллектуальных системах.

На рис.1 приведены топологические корректные модели и топологические не корректные модели. Изображение на рис.1а называют «спагетти». На нем не обозначены пересечения линий и при этом концы линий выходят за границы. Это совокупность наложенных пространственных образов без их взаимной систематизации.

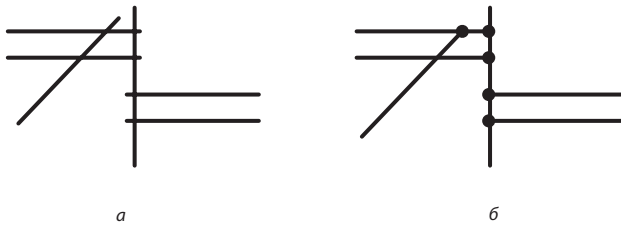


Рис.1. Топологически корректный б) и топологически некорректный а) пространственный образ

Ситуация, показанная, на рис.1а, возникает при автоматизированной векторизации растровых изображений. Она характеризуется нарушением коммутативности и нарушением топологических информационных соответствий [7]. Рисунок 1б характеризует исправления ошибок, которые содержит рисунок 1а. Введены пересечения, обозначенные точками, концы линий, выходящие за границы, обрезаны. Рисунок 1б можно рассматривать как корректный, с позиций топологической логики. На этом примере видно, что пространственная логика создает систематизацию и порядок за счет учета пространственных отношений и пространственных закономерностей. Топологическая корректность может интерпретироваться как корректность пространственной логики. В этом смысле рисунок 1 можно интерпретировать как припер пространственной логической корректности – 1б и пространственной логической не корректности 1а.

Применение пространственной логики.

Формализованное описание объектов, отношений и связей между ними, составленное одним человеком, позволяет найти ошибки другому. Этим уменьшается элемент субъективизма в описании или рассуждении. Это создает возможность воспроизвести опыт, что является обязательной составляющей знания и науки. Логика и пространственная логика является одним из путей формализации и систематизации.

Как следует из краткого рассмотрения пространственного знания, пространственная логика является одним из основных инструментов его получения. Изначально пространственная логика (spatial logic) рассматривалась как направление логических рассуждений, связанных с пространственными абстрактными образами. Затем пространственная логика была связана пространственными рассуждениями и с визуальным моделированием. Следующий этап ее развития связал пространственную логику с виртуальным моделированием и техническим зрением. Пространственная логика как фиксация пространственных закономерностей применялась давно, но явно так не называлась. Пространственная логика как совокупность правил архитектурного проектирования применялась архитектуре. «Золотое сечение» – пример одного из правил пространственной логики. В настоящее время в явной

форме ее применяют в ландшафтном проектировании [8]. Пространственная логика применяется при анализе онтологий [9].

Пространственная логика применяется во всех направлениях связанных с построением логических схем. В частности ее применяют вычислительных процессах при организации параллельных вычислений [10]. Пространственная логика применяется при организации графиков запросов к базе данных [11]. Пространственную логику применяют при анализе иерархических моделей [12]. Пространственная логика в сочетании с лингвистикой используется для описания визуальных языков [13].

Пространственная логика применяется в образовании, где она использует когнитивную графику. Пространственная логика применяется в когнитологии при построении когнитивных карт. Следует отметить ее значение для робототехники, где она позволяет моделировать рассуждения, которые можно использовать в робототехнических системах.

Пространственная логика применяется при интерактивной обработке информации с применением геоинформационных систем. Пространственная логика используется в психологии как метод пространственного мышления и восприятия мира [14]. Пространственной логике имеет свой язык, описывающий классы пространственных структур, который является одним из языков информатики [15]. В таком языке допускается логический синтаксис: синтаксис логики первого порядка, некоторый фрагмент логики первого порядка, логика высшего порядка. Пространственных языков может быть столько, сколько видов пространственных логик. Поэтому пространственная логика в общем должна рассматриваться как семейство пространственных логик. Подводя итог можно отметить, что пространственная логика является информационным ресурсом [16], повышающим эффективность пространственного анализа.

Виды пространственной логики.

Пространственная логика включает несколько основных частей: геометрическая логика, топологическая логика, логика пространственных отношений, теоретико-множественная логика, проектная логика, логика технического зрения, логика получения пространственных знаний и пр. Логическое описание действительности зависит от базового пространственного алфавита, синтаксиса и аксиом.

Геометрическая логика. Геометрическая логика, как вид пространственной логики, включает: определения; постулаты; и теоремы; целевые утверждения (задачи), которые требуется доказать или построить, используя некоторый стандартный механизм логического вывода. Такую схему полу-

чения знаний из изображений воспроизводят системы логического программирования, включая системы геометрического вывода. При автоматизированной обработке изображений задачам построения соответствуют задачи латентного анализа, а задачам доказательства соответствуют задачи распознавания объектов. На рис.2 приведены простейшие примеры геометрической логики.

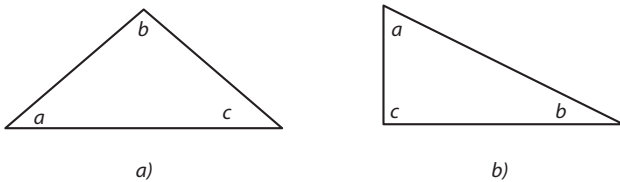


Рис.2. Геометрическая логика на треугольниках

Логика плоской геометрии Евклида не допускает пересечения параллельных прямых. Рисунку 3a соответствует синтаксис $a+b+c=\pi$. Рисунку 3b соответствует синтаксис $a+b=c$. В этой геометрии треугольник на плоскости всегда имеет сумму внутренних углов равную только π .

Логика геометрии на сфере исключает понятие прямой линии и заменяет ее на понятие геодезической линии. Логика геометрии на сфере допускает пресечение параллельных линий. Логика геометрии на сфере допускает сумму внутренних углов равную $3/2 \pi$. Таким образом, геометрическая логика задается базовыми аксиомами и постулатами и может различаться для разных геометрий. Геометрическая логика является основой технического зрения, особенно в робототехнических системах. Геометрическая логика описывает объект или свойства (параллельность, не параллельность).

Топологическая логика. Топологическая логика является пространственной логикой и использует достаточно простые аксиомы: топологическая инвариантность (рис.3), наличие пересечения – отсутствие пересечения. Топологическая логика использует топологические свойства объектов, наличие которых означает «истину», отсутствие «ложь».

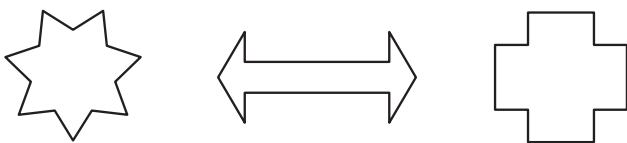


Рис.3. Топологические инварианты.

Различные аспекты рассмотрения пространственных образов приводят к разным выводам или к разным видам пространственного знания. На рис.3 подчеркивается топологическая инвариантность и сходство этих же форм.

Между фигурами на рис.3 существует отношение эквивалентности в соответствии с топологической логикой. Их можно рассматривать как логические тавтологии. В отдельных случаях топологические модели могут трансформироваться в логические выражения. Например, ориентированная дуга соответствует импликации. Пересечение соответствует конъюнкции. Топологическая инвариантность соответствует эквивалентности или тавтологии. Это позволяет строить формальные логические последовательности, соответствующие плоским топологиям. В топологической логике по топологическим схемам строят логические схемы, которые соответствуют ориентированным графам. Топологическая схема отображает связи. Топологическая логика описывает объект (инвариантность) и ситуацию (пересечение, близость).

Теоретико-множественная логика. Теоретико-множественная логика является пространственной при возможности отражения теоретико-множественных отношений с помощью абстрактных фигур. Теоретико-множественная логика использует теоретико-множественные отношения как логические отношения между множествами (рис.4). В верхней части рисунка 4 приведены два исходных множества. Ниже приведены четыре варианта отношений.

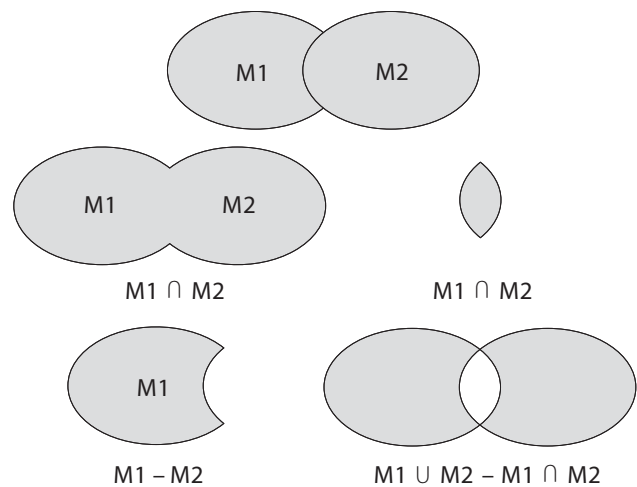


Рис.4. Теоретико-множественные отношения.

В теоретико-множественных схемах отображают отношения, в отличие от связей в топологии. Теоретико-множественные операторы, которые соотносят со множествами, аналогичны логическим операторам, которые соотносят с элементами множеств. Формальным множествам в теории множеств в геоинформатике и пространственной логике сопоставляют координированные множества. Теоретико-множественная логика описывает пространственную ситуацию.

Образная логика. Образная логика оперирует с пространственными образами, которые имеют морфологию

и семантику. Образная логика использует три правила идентификации. Первое правило: *A* есть *B*, либо не есть *B*.

$$((A \wedge B = 1) \vee (A \wedge B = 0)) \equiv 1 \quad (1)$$

Это правило является следствием закона исключения третьего в логике. Второе правило эквивалентности: если *A* есть *B*, то *B* есть *A*.

$$(A \wedge B = 1) \rightarrow (B \wedge A = 1) \quad (2)$$

Третье правило эквивалентного переноса: если *A* есть *B* и *B* есть *C*, то *A* есть *C*.

$$((A \wedge B = 1) \wedge (B \wedge C = 1)) \rightarrow (C \wedge A = 1) \quad (3)$$

Правила идентификации (1-3) распространяются на форму и семантику. Дополнительно для пространственной образной логики имеют место два правила упорядочения. Правило сравнения: если *A* больше или равно *B*, то *B* меньше или равно *A*;

$$((A \geq B = 1) \rightarrow (A \leq B = 1)) \quad (4)$$

Правило сравнительного переноса свойств: если *A* больше или равно *B* и *B* больше или равно *C*, то *A* больше или равно *C*.

$$((A \geq B = 1) \wedge (B \geq C = 1)) \rightarrow (A \geq C = 1) \quad (5)$$

Выражения (1-3) содержат только логические операторы. Выражения (4, 5) содержат логические операторы и операторы сравнения. Выражения (4, 5) могут использовать качественные и количественные критерии. Для использования количественных критериев в пространственной логике должны быть введены единицы сравнения или единицы измерения. Такими единицами в образной логике и информационном моделировании являются информационные единицы [17]. Информационные единицы позволяют объединять моделирование и логические процедуры. Они могут служить для количественной и качественной оценки, для количественного и качественного сравнения, для количественного и качественного анализа.

Введем понятие количество информационных единиц объекта *A* [*QIU(A)*]. Эти единицы могут быть единицами площади, единицами интенсивности, единицами яркости, единицами объема, единицами длины, единицами удаленности, единицами стоимости, единицами определенного качества и др. В этом случае выражения (1-5) приобретают новый вид

$$((QIU(A) \wedge QIU(B) = 1) \vee (QIU(A) \wedge QIU(B) = 0)) \equiv 1 \quad (1б)$$

$$(QIU(A) \wedge QIU(B) = 1) \rightarrow (QIU(B) \wedge QIU(A) = 1) \quad (2б)$$

$$((QIU(A) \wedge QIU(B) = 1) \wedge (QIU(B) \wedge QIU(C) = 1)) \rightarrow (QIU(C) \wedge QIU(A) = 1) \quad (3б)$$

$$((QIU(A) \geq QIU(B) = 1) \rightarrow (QIU(A) \leq QIU(B) = 1)) \quad (4б)$$

$$((QIU(A) \geq QIU(B) = 1) \wedge (QIU(B) \geq QIU(C) = 1)) \rightarrow (QIU(A) \geq QIU(C) = 1) \quad (5б)$$

Выражения (1б-5б) являются аналогами выражений (1-5). Но они содержат механизм объективного сравнения образных объектов. Для пространственной логики и образной логики существует понятие информационной логической ситуации. На рис.6 показаны ситуации (*a*, *b*, *в*) образной логики. Параметр *d* характеризует близость (топология) или расстояние (геодезия) между объектами.

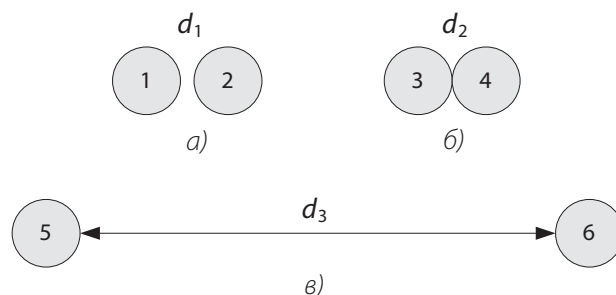


Рис.5. Образно логические ситуации

Ситуация на рис.5а характеризует отсутствие контакта между объектами 1 и 2. Для этой ситуации параметр $d_1 > 0$. Ситуация на рис.5б характеризует наличие контакта между объектами 3 и 4. Для этой ситуации параметр $d_2 = 0$. Ситуация на рис.5в характеризует отсутствие близости между объектами 5 и 6. Для этой ситуации параметр $d_3 \gg d_1$.

По рисунку 5 можно констатировать, что пространственный образ превосходит язык, поскольку фактическое отношение между объектами образно представлено пространственным отношением.

Для образной логики существует дескриптивное и графическое (образное) описание. Дескриптивное или словестное описание должно совпадать с пространственным образом. В случае совпадения словестного и образного описания дескриптивное описание есть «истина» (1), в противном случае оно есть «ложь» (0). Например, для рисунка 6 имеют место следующие высказывания

$$\text{Объект 1 и объект 2 соприкасаются} = 0; \quad (6)$$

$$\text{Объект 1 и объект 2 не соприкасаются} = 1; \quad (7)$$

$$\text{Объект 3 и объект 4 соприкасаются} = 1; \quad (8)$$

$$\text{Объект 3 и объект 4 не соприкасаются} = 0; \quad (9)$$

Или, в логической нотации

$$(d_1 = 0) = 0 \quad (10)$$

$$(d_1 > 0) = 1 \quad (11)$$

$$(d_2 = 0) = 1 \quad (12)$$

$$(d_2 \neq 0) = 1 \quad (13)$$

Логические выражения (10-13) являются аналогами лингвистических выражений (6-9). Можно сделать вывод, что использование пространственных описаний (рис.6) и пространственной логики (10-13) сокращает описание ситуации и позволяет ее объективно

анализировать. Можно сделать вывод, что в пространственной логике истинность высказывания можно проверять фактическим пространственным образом, к которому это высказывание относится. Образная логика описывает ситуацию.

Особенностью пространственных языков является неоднозначность интерпретации сложных образных конструкций. Это приводит к возникновению ошибок в интерпретации сложных пространственных образов. Отмечают четыре типа ошибок пространственной интерпретации [18]. Эти ошибки типичны для всей образной логики.

К первому типу относятся ошибки «многозначность интерпретации» сложного образа. Эти ошибки обусловлены разными путями формирования одинакового пространственного образа с использованием семантически разных исходных информационных единиц. Разные алфавиты могут формировать одинаковые по внешнему виду слова, которые имеют разное семантическое содержание.

Ко второму типу пространственных логических ошибок относят ошибки, обусловленные некорректным размещением пространственного объекта в информационном поле. Например, образ может быть обрезан рамкой, что создает информационную неопределенность образа.

К третьей группе относят ошибки в системах классификации пространственных объектов, которые создают двойственность интерпретации. К четвертому типу ошибок относят ошибки качественного сравнения пространственных образов.

Заключение

Пространственная логика иногда интерпретируется как кросс-технология [19]. Кросс технологией называют технологию перекрестного взаимодействия разных технологий с целью повышения надежности результата. Пространственная логика приводит к семиотике и новому витку семиотического управления. Пространственная логика в сочетании с когнитивной широко применяется в ситуационных центрах. Пространственная логика широко применяется в системах технического зрения и робототехнике. Теоретико-множественная пространственная логика отражает отношения, а топологическая пространственная логика отражает связи. Такие логики дополняют друг друга при работе с набором пространственных образов подвижных объектов. Эффективность пространственной логики в том, что она дает возможность подключать дополнительные признаки сходства различия по цвету и интенсивности цвета. Пространственная логика эффективна при использовании ситуационного подхода. Особую ценность в пространственной логике является

возможность применения паралингвистических информационных единиц. Применение паралингвистических пространственных информационных единиц повышает оперативность анализа.

Литература:

1. Calcagno C., Cardelli L., Gordon A. D. Deciding validity in a spatial logic for trees //ACM SIGPLAN Notices. – ACM, 2003. – V.38. – №. 3. – С. 62-73.
2. Collier S. J., Lakoff A. Distributed preparedness: the spatial logic of domestic security in the United States //Environment and planning D: Society and space. – 2008. – V.26. – №. 1. – С. 7-28
3. Randell D. A., Cui Z., Cohn A. G. A spatial logic based on regions and connection //KR. – 1992. – V.92. – С. 165-176
4. Lossau J. Pitfalls of (third) space: rethinking the ambivalent logic of spatial semantics //Communicating in the third space. – Routledge, 2008. – С. 76-92.
5. Aiello M., Pratt-Hartmann I., Van Benthem J. What is Spatial Logic? // Handbook of spatial logics. – Springer, Dordrecht, 2007. – p. 1-11
6. Миронов С. В., Юдин А. В. Система технического зрения в задачах навигации мобильных объектов // Программные продукты и системы. – 2011. – №. 1. – с.10-16.
7. Цветков В.Я. Информационное соответствие // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – №1. – с.454-455.
8. Talen E. The spatial logic of parks //Journal of Urban Design. – 2010. – V.15. – №. 4. – С. 473-491
9. Randell D. A., Cui Z., Cohn A. G. A spatial logic based on regions and connection //KR. – 1992. – V.92. – С. 165-176
10. Caires L., Cardelli L. A spatial logic for concurrency (part I) //Information and Computation. – 2003. – V.186. – №. 2. – С. 194-235
11. Cardelli L., Gardner P., Ghelli G. A spatial logic for querying graphs //International Colloquium on Automata, Languages, and Programming. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2002. – С. 597-610.
12. Calcagno C., Cardelli L., Gordon A. D. Deciding validity in a spatial logic for trees //ACM SIGPLAN Notices. – ACM, 2003. – V.38. – №. 3. – С. 62-73.
13. Gooday J. M., Cohn A. G. Using spatial logic to describe visual languages //Integration of Natural Language and Vision Processing. – Springer, Dordrecht, 1996. – С. 171-186.
14. Lossau J. Pitfalls of (third) space: rethinking the ambivalent logic of spatial semantics //Communicating in the third space. – Routledge, 2008. – С. 76-92.
15. Цветков В. Я. Язык информатики // Успехи современного естествознания. – 2014.- №7. – с.129-133.

16. Tsvetkov V. Ya. Information Models and Information Resources // European Journal of Technology and Design, 2016, №2 (12), p. 79-86
17. Tsvetkov V. Ya. Information Units as the Elements of Complex Models // Nanotechnology Research and Practice. – 2014, № 1(1), p.57-64
18. Лютый А.А. Язык карты: сущность, система, функции. – 2-е изд. – М.: ГЕОС, 2002. – 327 с.
19. Филимонов В.А. Кросс-технологии ситуационного центра – полигон кибернетики // Математические структуры и моделирование. – 2014. – №. 3 (31).- с. 87-98

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Розенберг Игорь Наумович**
Москва, АО «НИИАС», генеральный директор,
доктор технических наук, профессор
i.rozenberg@vniias.ru
- **Цветков Виктор Яковлевич**
Москва, АО «НИИАС», заместитель руководителя
центра стратегического анализа и развития,
доктор технических наук, профессор
cvj2@mail.ru



УДК 656.212.5

Шабельников А.Н., Суханов А.В.

Цифровая станция как киберфизическая система¹

1. Киберфизические системы – основа шестого технологического уклада. Киберфизические системы (от англ. cyber-physical system, CPS) – это системы, состоящие из различных природных объектов (естественных и искусственных), представляющих собой единое целое образование (по целям и ресурсам), способное к самосохранению и развитию в среде своего погружения [1]. В CPS обеспечивается тесная связь и координация между технико-технологическими, вычислительными, физическими и интеллектуальными ресурсами. Проще говоря, в CPS с положительным синергетическим эффектом осуществляется взаимодействие специально подготовленных людей с кибернетическими системами.

Технологической основой CPS являются технологии:

- цифровых платформ (ЦП);
- интернета вещей (англ. Internet of Things – IoT);
- интернета сервисов [2].

Рассмотрим кратко эти понятия.

ЦП – это аппаратные средства, устройства и комплексы (компьютеры и периферийные устройства к

ним, оргтехника), телекоммуникации, программные продукты и математическое обеспечение, позволяющие пользователям практически в любых предметных областях достигать поставленных целей.

IoT – концепция вычислительной сети физических предметов («вещей»), оснащённых встроенными технологиями для взаимодействия друг с другом или с внешней средой.

Интернет сервисы различают двух поколений: Веб 1.0 созданы по технологии «можно только читать», второе поколение Веб 2.0 используется для дистанционного обучения и обмена опытом с помощью форумов, конференций, вебинаров, интерактивного общения, геосервисов, реализации Вики-технологий (технологий для коллективной разработки сайта и наполнения его информацией) и др.

Важность развития научного направления CPS подтверждается следующими историческими данными:

В 2008 году этот класс систем был признан одним из наиболее важных направлений технического развития в США (Администрация Барака Обамы включила киберфизические системы в приоритетный список инноваций).

¹ Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 17-20-01040)

В 2013 году была утверждена соответствующая Программа президентского инновационного партнерства Presidential Innovation Fellows для развития CPS. Несколько позже, но в этом же году стартовала аналогичная программа и в Европе.

В октябре 2014 года рассматриваемая технология включена в дорожную карту Китая, и китайские эксперты принялись активно осваивать CPS.

С отставанием в четыре-пять лет 12 декабря 2018 г. в Госдуме РФ состоялось заседание Экспертного совета по цифровой экономике и блокчей-технологиям при комитете ГД по экономической политике, промышленности, инновационному развитию и предпринимательству. Главной темой заседания стало обсуждение возможностей нормативного обеспечения шестого технологического уклада и национальных стандартов киберфизических систем.

На Совете отмечено, что возникающий технологический уклад, прежде всего, связан с повсеместным использованием киберфизических систем в различных отраслях и приложениях: транспорт, финансы, производство товаров и услуг, медицина, передача и обработка данных, энергетика и т.д. Новые сервисы и платформы задают высокие требования по надежности, безопасности, скорости производимых и исследуемых процессов различной природы. Эти требования возможно удовлетворить, только создав новую экономику, развернув инновационную инфраструктуру на базе передовых технологий, стандартов, методик и искусственного интеллекта.

Оценивая время обращения к концепции CPS, имеющиеся ресурсы (финансовые, интеллектуальные, кадровые) России в сравнении с передовыми экономиками иных стран мира, следует отметить критичность проблемы выхода экономики РФ на уровень конкурентоспособного развития. Требуется мобилизация усилий, ресурсов, эффективный менеджмент. В первую очередь это касается железнодорожного транспорта, интегрирующего экономики регионов, катализирующего социально-экономическое развитие страны.

2. Роль и место Комплексной системы автоматизации управления сортировочными процессами в развитии CPS на железнодорожном транспорте. В настоящее время базовой системой автоматизации сортировочных процессов на российских железных дорогах является Комплексная система автоматизации управления сортировочными процессами (КСАУ СП) [3]. Она уже использует элементы интеллектуализации, но полноценной киберфизической системой не является. Действительно:

– Уровни управления (технический – исполнительными устройствами и организационный, осуществляемый субъектом) далеко разнесены в параме-

трах существования и функционирования объектов управления (место, время, критерии, ресурсы и т.д.). Они (уровни) слабо взаимодействуют между собой (как, впрочем, это и предполагается в автоматизированных системах), что не позволяет получить положительную синергию, присутствующую в CPS.

– Нет общей цифровой платформы с ИСУ ЖТ [4], интегрирующей данные и процессы в смежных сферах деятельности (управление движением, техническое обслуживание и ремонт объектов инфраструктуры ЖДТ и т.д.).

– КСАУ СП уже активно использует транслируемый ей естественный интеллект человека-специалиста, но сама интеллект (машинный) не продуцирует. Реализовать эту функцию в последующих вариантах системы предполагается за счет внедрения IoT, интернета сервисов, мультиагентных систем [5].

– В КСАУ СП нет автоматически работающих механизмов обеспечения живучести и развития в неопределенной и нестационарной среде погружения. В этой связи предлагается разработать концепцию Цифровой станции (ЦС), которая является типичным объектом CPS [5]. Согласно этой концепции:

- Технико-технологической основой ЦС является КСАУ СП.
- Физические ресурсы ЦС представлены специалистами по разработке и эксплуатации сортировочных станций (которые в автоматизированных системах отделены от технических средств разными уровнями функционирования).
- Вычислительные функции ЦС реализуются как компьютерными возможностями собственно КСАУ СП, так и вычислительным потенциалом РостФ НИИАС с использованием интернет-технологий (облачный сервис, стандартные приложения различных ЦП).
- Интеллектуальные ресурсы ЦС представлены, как естественным интеллектом выше указанных специалистов, так и искусственным интеллектом, генерируемым СППР КСАУ СП. Интеллектуальные ресурсы ЦС транслируются из одного вида в другой (человек обучает машину и наоборот), обогащая друг друга.

3. Опыт внедрения киберфизических систем [6].

На развитие производства все в большей мере влияет ограничение когнитивных способностей человека, которые эволюционируют медленнее, чем научно-технический прогресс. Этот эффект наглядно демонстрируется историей развития КСАУ СП. Возможности классической автоматизации исчерпаны, и новые задачи требуют развития и внедрения новых подходов. Неизбежно наступает момент, когда люди уже не в состоянии справиться с объемом информации, требу-

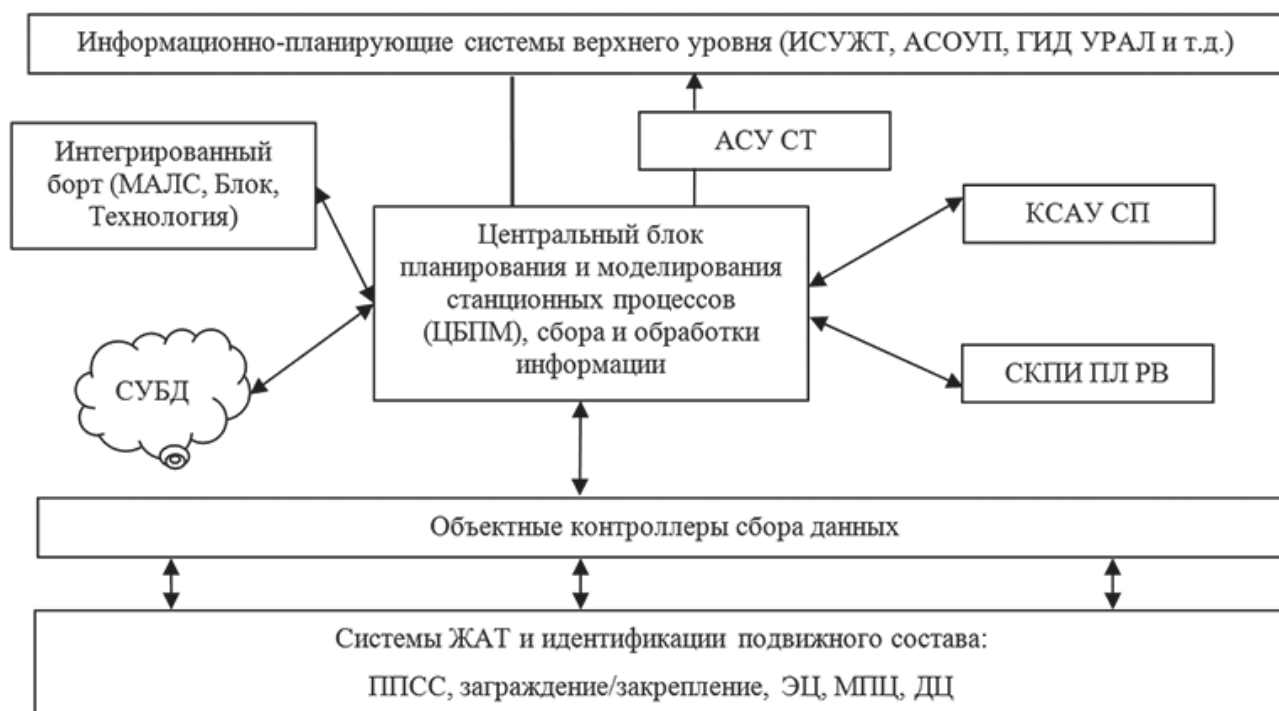


Рис. 1. Структурная схема ЦС

емой для принятия обоснованных решений, и в этом случае управленческие функции нужно передать CPS, частично выведя человека из контура управления.

CPS успешно справляются не только с огромным объемом информации и высокой скоростью ее поступления, но могут значительно усилить аналитические способности человека, развивая машинный интеллект. В этой связи появляется потребность в создании интерактивных систем нового уровня, сохраняющих человека в контуре управления. В совокупности мы получаем умное производство (Smart Factory – SF).

SF состоит из модульных блоков, объединенных общим управлением и временем. Но самое существенное в SF – это общая информация, которую сегодня называют «энергией», «нефтью» 21 века [6]. Именно многократное и совместное использование информации обеспечивает генерацию знаний, достоверность используемых данных. SF и есть основание цифровой экономики.

Важным отличительным свойством SF-систем является их самоуправляемость. Они оценивают состояние окружающей среды, обнаруживают и исправляют ошибки – например, реагируют на износ оборудования. Статистика показывает, что только переход от плановых ремонтов к ремонтам по состоянию дает 40% сокращение ремонтных затрат [6]. Именно на этом пути мы и видим дальнейшее развитие КСАУ СП. Создание и внедрение в сортировочный комплекс блоков анализа состояния оборудования станции, прогноза точек технического обслуживания и ремонта – базовая задача над которой работает коллектив РостФ НИИАС [3, 5].

SF позволяет оптимизировать все производство, прежде всего за счет создания единой системы, использующей IoT-технологии и технологии Big Data. В результате машины и люди обмениваются данными между собой в режиме реального времени. Обмен охватывает:

- оборудование, расположенное непосредственно на производственных площадках, логистических цепочках;
- поставщиков и потребителей;
- обслуживающий персонал.

При этом производственное оборудование, получая сведения об изменившихся требованиях, само вносит корректировки в технологический процесс. Это позволяет значительно сократить производственные и организационные расходы.

В новой экономике производства изменяется роль правил и стандартов: повышается степень формализации и они фактически превращаются в конечный автомат, действуя по правилу «если ..., то ...».

Вот наглядный пример, подтверждающий эффект внедрения CPS и SF. Американская компания General Electric (GE) инвестирует в создание IoT-систем порядка 3 млрд. долларов в год. В настоящее время GE уже мониторит 50 млн. элементов данных с 10 млн. сенсоров или 1 трл. единиц информации в день без временных задержек в реальном времени [6]. В отчете о работе GE приводятся следующие итоговые данные: экономия 1% от затрат в год дает авиакомпании – 2-3 млрд. дол.



Рис. 2. Модель функционирования цифровой станции

4. Цифровая станция как киберфизическая система [3, 5]. Рассмотрим в конкретных, предметных терминах CPS – Цифровая станция. Рис. 1 раскрывает сущность функционирования ЦС как киберфизической системы [2]. Это первая проекция работы ЦС. Здесь на структурной схеме обозначены уровни управления станцией и их связь и информационными технологиями, отражающими сущность цифровизации станционных процессов.

На рис. 2 дана вторая проекция ЦС. Она обозначает место информационной модели (и ее состав); интеллектуальных планировщиков, обобщающих механизмы деятельности СППР различных подсистем, всевозможных автоматов-советчиков; блока исполнения и мониторинга; а также место аналитической системы.

Информационная модель обеспечивает ЦС, ЦЖД и другие системы более высокого уровня необходимой информацией с «поля», данными о состоянии объектов инфраструктуры станции, формализованным опытом работы специалистов.

Совокупность интеллектуальных планировщиков (ИП) составляет ядро СППР и обеспечивает решение ряда важных задач прогноза и управления работой станции (в том числе сортировочного комплекса): распределение сортировочной нагрузки между сортировочными комплексами; расчет параметров технологического процесса сортировки составов (скорость роспуска, время и ступени торможения) с учетом многокритериальной постановки задачи.

Блок реализации (исполнения) технологических процессов ЦС содержит подсистему мониторинга и обратную связь. Информация об исполненном движении запоминается в информационной модели и используется для корректировки собственно хода технологического процесса и переобучения ИП. Тем самым учитывается нестационарность функционирования объектов инфраструктуры ЖДТ, возникающую вследствие изменения погодных-климатических условий, износа оборудования и влияния иных факторов.

Блок анализа работы станции. Анализ реализуется средствами предикативной аналитики, а также с помощью ИП (мониторинг, диагностика).

Выводы:

1. Раскрыты роль и место киберфизических систем в организации сортировочной работы.
2. Прокомментированы основные понятия синтеза цифровой станции (CPS, ЦП, IoT-технологии, интернет сервисы, технологии Big Data, SF).
3. Показано, что проект «Цифровая станция» обеспечивает решение следующих актуальных задач:
 - повышение экономической и производственной эффективности СС;
 - сокращение эксплуатационных расходов;
 - переход на малолюдные технологии работы сортировочных станций;
 - повышение безопасности технологических процессов формирования-расформирования составов на сортировочных станциях.

Литература:

1. Sanfelice R. G. Analysis and Design of Cyber-Physical Systems. A Hybrid Control Systems Approach // Cyber-Physical Systems: From Theory to Practice / D. Rawat, J. Rodrigues, I. Stojmenovic. – CRC Press, 2016. – ISBN 978-1-4822-6333-6.
2. Розенберг Е. Н., Уманский В. И., Дзюба Ю. В. Цифровая экономика и цифровая железная дорога // Транспорт РФ. 2017. № 5 (72). С. 45–49.
3. Шабельников А.Н. Комплексная система автоматизированного управления сортировочными процессами – инновационный проект российских железных дорог: Монография. – Москва: ВИНТИ РАН, 2016. – 242 с.
4. 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.
5. Розенберг И.Н., Шабельников А. Н. Цифровая сортировочная станция. – Москва. Железнодорожный транспорт. 2018г. №10, С. 13-17.
6. Куприяновский В.П., Намиот Д.Е., Синягов С.А. Киберфизические системы как основа цифровой экономики // International Journal of Open Information Technologies ISSN: 2307-8162 vol. 4, no. 2, 2016.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Шабельников Александр Николаевич**
Москва, АО «НИИАС», заместитель Генерального директора, директор Ростовского филиала, доктор технических наук, профессор
shabelnikov@rfniias.ru
- **Суханов Андрей Валерьевич**
Ростов-на-Дону, филиал АО «НИИАС», старший научный сотрудник ЦИИТ, кандидат технических наук
a.suhanov@rfniias.ru



УДК 656.2

Бородин А.Ф.

Автоматизация решения задач развития и использования железнодорожной инфраструктуры и перевозочных ресурсов в Стратегии цифровой трансформации ОАО «РЖД»

Эффективное выполнение Долгосрочной программы развития (ДПР) ОАО «Российские железные дороги», утвержденной Правительством Российской Федерации, невозможно без цифровизации процессов использования и развития железнодорожной инфраструктуры и перевозочных ресурсов. Стратегия цифровой трансформации ОАО «РЖД» до 2025 года предусматривает создание восьми функциональных цифровых платформ, оказывающих непосредственное влияние на следующие общекорпоративные задачи, определенные в ДПР:

- 1) повышение финансово-экономической эффективности;
- 2) повышение эффективности грузоперевозок за счет комплексного обслуживания грузоотправителей и повышения качества;
- 3) повышение транспортной мобильности населения внутри и между агломерациями;

4) опережающее развитие инфраструктуры.

Уровень и сложность автоматизируемых процессов требуют переосмысления постановок и методов решения рассматриваемых задач, которые должны обеспечить:

- моделирование и оптимизацию инфраструктурных и технологических условий – для цифровых платформ №1 (платформа мультимодальных пассажирских перевозок), №2 (платформа мультимодальных грузовых перевозок), №4 (платформа оператора линейной инфраструктуры) и №7 (платформа управления перевозочным процессом);
- комплексное планирование – для цифровых платформ №4 и №7;
- прогнозную аналитику и оценку рисков – для цифровых платформ №№ 1, 2, 4 и 7.

На рисунке 1 представлены основные функциональные взаимосвязи задач развития и использования

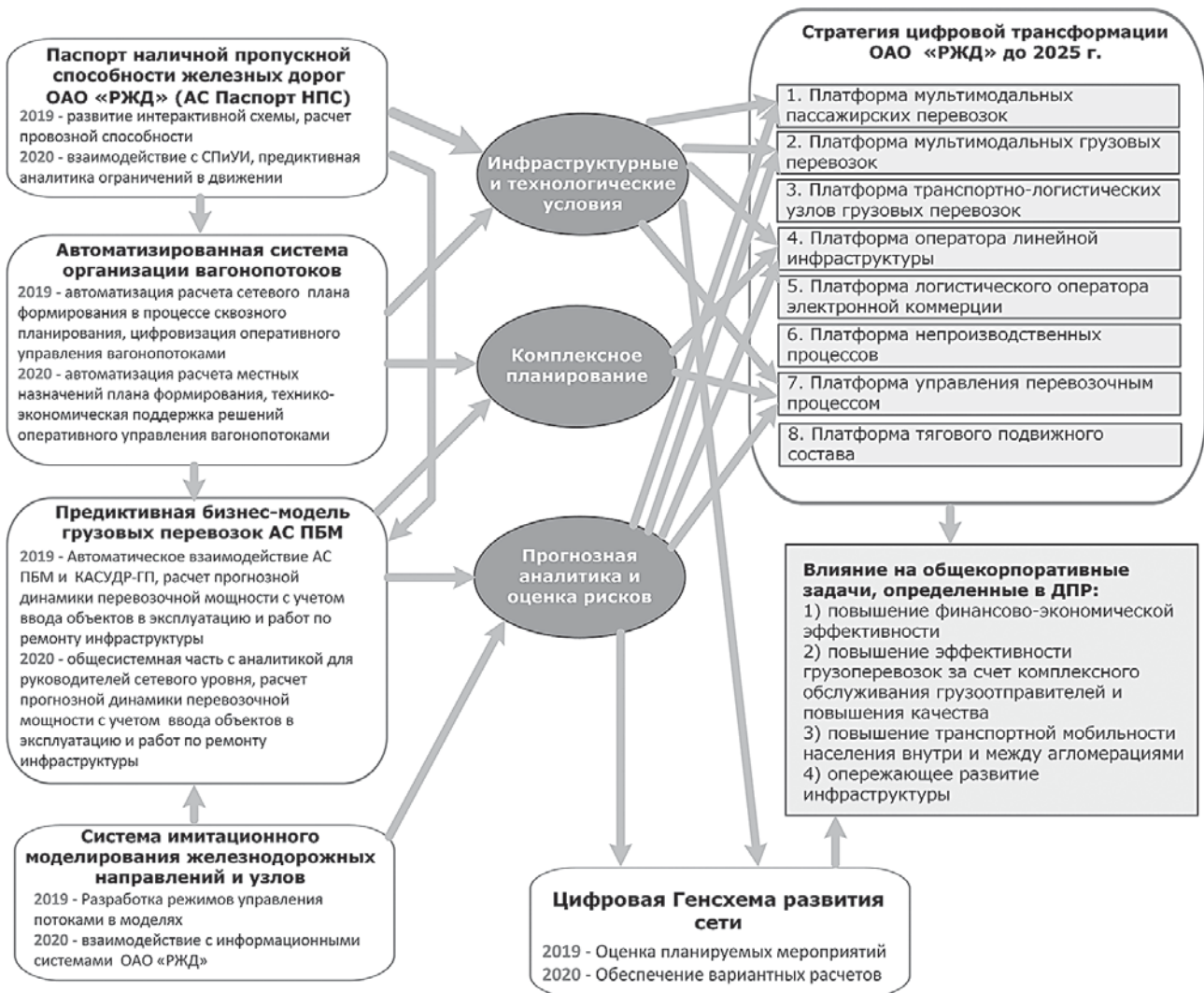


Рис.1. Основные функциональные взаимосвязи задач развития и использования железнодорожной инфраструктуры и перевозочных ресурсов с компонентами Стратегии цифровой трансформации ОАО «РЖД»

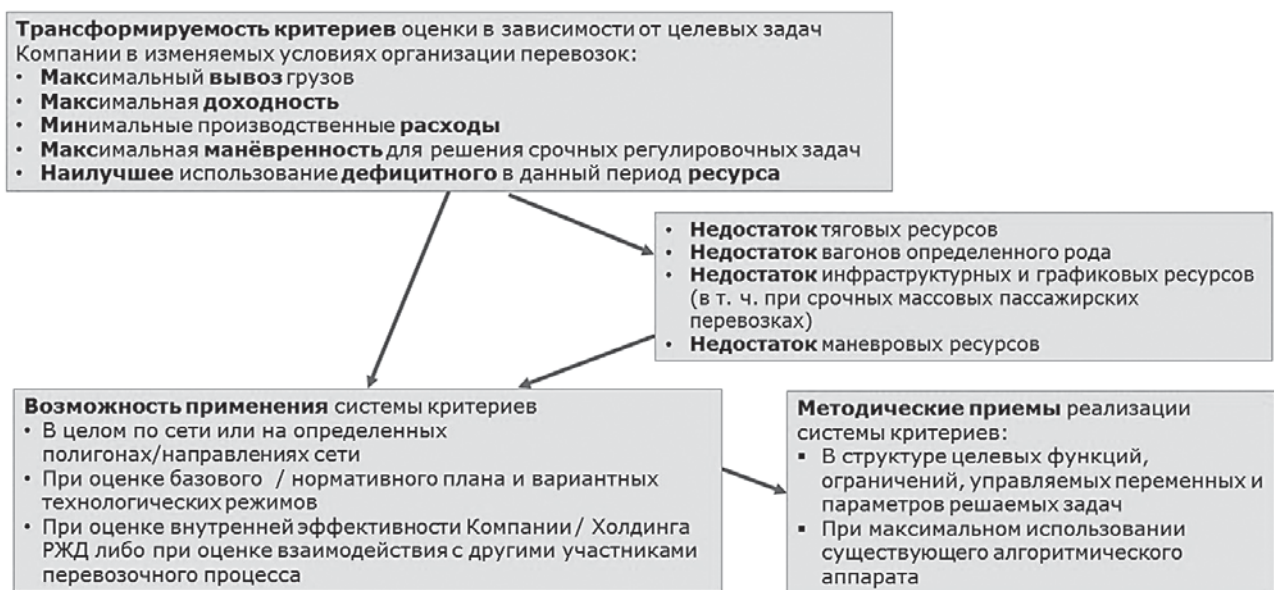


Рис.2. Требования к критериям оценки вариантов технологии организации вагонопотоков



Рис. 3. Периодичность расчетов АС ПБМ

железнодорожной инфраструктуры и перевозочных ресурсов с компонентами Стратегии цифровой трансформации ОАО «РЖД», а также ключевые этапы развития на 2019-2020 гг., необходимые для обеспечения этих взаимосвязей.

Новый функциональный состав базируется на интеграционном решении, предусматривающем взаимодействие Автоматизированной системы «Паспорт наличной пропускной способности железных дорог ОАО «РЖД» (АС Паспорт НПС), Автоматизированной системы организации вагонопотоков (АСОВ), Системы имитационного моделирования железнодорожных направлений и узлов, ресурсной модели использования инфраструктуры ОАО «РЖД» (Прогноз ресурсов сети – АС ПРОГРЕСС) и ее подсистемы – предиктивной бизнес-модели грузовых перевозок (АС ПБМ) с использованием результатов имитационного моделирования работы железнодорожных направлений и узлов.

Фундаментом для развития сети и управления перевозками служит мониторинг текущего развития инфраструктуры и технологии перевозочного процесса. С 2015 года в промышленной эксплуатации находится Автоматизированная система «Паспорт наличной пропускной способности железных дорог ОАО «РЖД» – АС Паспорт НПС. Система позволяет оценивать достигнутые результаты ввода мощностей по инвестиционным мероприятиям, сократить сроки и повысить достоверность электронной паспортизации пропускной способности. Основой методического обеспечения АС Паспорт НПС стала новая Методика определения пропускной и провозной способностей инфраструктуры железнодорожного транспорта

общего пользования, утвержденная в 2018 году Минтранс России [1]. Эффект от внедрения системы заключается в снижении трудоемкости, повышении оперативности многовариантных расчетов наличной пропускной способности железных дорог ОАО «РЖД» в целях выявления лимитирующих элементов в пропускной способности по перегонам, станциям, устройствам тягового электроснабжения, подразделениям локомотивного и вагонного хозяйств.

Другим системообразующим направлением работы является развитие технологии и программных средств организации вагонопотоков в поезда. В 2015-2018 гг. внедрены в эксплуатацию программные комплексы, объединяющие задачи ведения, обеспечения эффективности и анализа выполнения плана формирования поездов в рамках АСОВ (Автоматизированной системы организации вагонопотоков). Одним из важнейших достижений является автоматизация цикла разработки и контроля исполнения маршрутных перевозок во взаимодействии с системами АСОУП и АС ЭТРАН.

В системе сквозного производственного планирования ОАО «РЖД» предусматривается вариативность критериев оценки рассчитываемого плана формирования грузовых поездов, который, как известно, оказывает влияние на бюджетные показатели, как в процессе их определения, так и при их достижении в рамках реализации перевозочного процесса. Роль плана формирования, как одного из инструментов реализации производственной деятельности, заключается в технологическом обеспечении выполнения следующих условий в разном их сочетании: максимальный вывоз грузов, максимальная доходность, минимальные производственные расходы, максимальная маневренность для решения срочных



Рис.4. Целевое состояние укрупненной функциональной архитектуры информационно-аналитической поддержки процессов развития пропускных и провозных способностей железнодорожной сети

регулирующих задач, наилучшее использование дефицитного в данный период ресурса (рис. 2).

При разработке и корректировке плана формирования, в зависимости от выбранного сочетания критериев, будут изменяться значения целевых показателей.

При назначении приоритетным критерием оптимизации освоение максимально возможного объема перевозок распределять сортировочную работу между станциями следует, исходя из наиболее полного технически допустимого уровня загрузки лимитирующих объектов инфраструктуры, исключения потерь выгрузочной способности припортовых узлов, проверяя при этом непосредственным расчетом обеспеченность тягой и вагонным парком.

При назначении приоритетным критерием максимального финансового результата перевозочной деятельности ОАО «РЖД» план формирования должен продвигать вагонопотоки таким образом, чтобы снизить не только зависящие расходы, но и риски потерь доходов из-за несвоевременной доставки грузов и несвоевременного подвода порожняка в пункты погрузки, исключить неприем поездов из-за перегрузки узлов.

При определении технологии организации вагонопотоков в условиях недостатка инфраструктурных и графиковых ресурсов (например, при срочных массовых пассажирских перевозках) в плане формирования нужно просчитывать установление назначений грузовых поездов с использованием параллельных ходов, привлечения к сортировочной работе вспомогательных станций.

Все это обеспечивает условия для создания нового программного комплекса расчета оптимального плана формирования поездов. Завершение первого этапа

выполнения данной работы запланировано в декабре 2019 года с автоматизированным расчетом плана формирования на 2019/2020 гг. Внедрение такой системы позволит качественно повысить обоснованность и своевременность принимаемых решений, снизить влияние человеческого фактора и в целом улучшить качество перевозочного процесса.

Предиктивная бизнес-модель грузовых перевозок (АС ПБМ) интегрирована в контур сквозного производственного планирования и бюджетного управления и стала постоянным инструментом, используемым в процессе ежемесячного, квартального и годового планирования производственно-экономических показателей филиалов ОАО «РЖД» (рис. 3).

АС ПБМ 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-И). Однако опыт показал, что, помимо интеграционного решения, необходима общесистемная часть с соответствующей моделью данных и приложениями – аналитикой для руководителей сетевого уровня, расчетом прогнозной динамики перевозочной мощности с учетом ввода объектов в эксплуатацию и работ по ремонту инфраструктуры.

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 и своевременно разработать комплекс мер по оптимизации работы Холдинга «РЖД».

Для решения этой задачи ведется поэтапная разработка и внедрение, обеспечивающей расчет прогнозных показателей перевозочной работы ОАО «РЖД» в разрезе основных родов грузов и детализации «станция-станция», 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 расчёта предельных объемов перевозки, оценки прогнозной себестоимости и финансового результата работы на уровне сети в целом.

Эффективное решение рассматриваемого круга задач требует развития вычислительных методов исследования и развития ОАО «РЖД» и взаимодействующих транспортных и промышленно-логистических инфраструктур, и прежде всего в двух аспектах – согласованного технического развития и согласованной технологии их функционирования. С этой целью развиваются методики расчетов припортовых транспортных узлов, бимодальных пассажирских систем, расчетов результирующей пропускной и перерабатывающей способности станций примыкания и путей необщего пользования [2]. В составе программного обеспечения ведения технологии взаимодействия железнодорожных путей необщего пользования и станций примыкания (АС ЕТП) разрабатывается новая подсистема мониторинга и исполнения технических условий ОАО «РЖД» на проектирование и строительство путей необщего пользования (АС ТУ). Развитие данной подсистемы позволит, анализируя динамику структуры и объемов транспортных потоков и выполнения мероприятий по согласованному развитию элементов инфраструктур общего и необщего пользования, оценивать результаты невыполнения и невыдачи технических условий – дополнительные технические и технологические решения и их экономические последствия.

Рассматриваемые шаги в развитии открывают возможности перехода к созданию Цифровой генеральной схемы развития сети ОАО «РЖД» (см. рис.1) и далее – к **информационно-аналитической поддержке процессов развития пропускных и провозных способностей железнодорожной сети (рисунок 4), включающей в себя:**

- единую модель сетевых ресурсов ОАО «РЖД» и смежных транспортных инфраструктур;
- технологическую и инвестиционную детализацию проектов для железнодорожных полигонов и узлов. Результатом должно стать моделирование и оптимизация интегрированных электронных детальных планов комплексных инвестиционных проектов.

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).
2. Методика расчёта перерабатывающей способности станции, во взаимосвязке с перерабатывающими возможностями грузовых фронтов, мест общего и необщего пользования, на которых осуществляется грузовая работа / Утверждена распоряжением ОАО «РЖД» N 503/р от 18.03.2019 г. [Текст]. М., 2019. – 59 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

- **Бородин Андрей Федорович**
Москва, АО «Институт экономики и развития транспорта», заведующий отделением эксплуатации железных дорог и взаимодействия транспортных систем, доктор технических наук, профессор borodinaf@mail.ru



УДК 656.25;656.251/256;629.42.067

Розенберг Е.Н.

Принципы построения систем управления и интервального регулирования движением поездов четвертого поколения

На многих направлениях РЖД, где практически полностью используется пропускная способность, стоит задача дальнейшего увеличения этого показателя без строительства дополнительных путей. Одним из важнейших инструментов решения этой задачи является применение современных технологий комплексной автоматизации, информатизации и синтеза на их основе комплексной системы управления и интервального регулирования движения (СУИРД), обеспечивающей минимизацию интервалов попутного следования поездов [1,2].

При этом для более эффективного решения поставленной задачи было решено произвести декомпозицию системы – разбивки ее на отдельные подсистемы и подзадачи и провести испытания представленных по ним различными разработчиками вариантов технических решений на различных участках железных дорог, определенных в качестве опытных.

Было установлено, что для перспективных проектов реконструкции инфраструктуры вариант СУИРД с применением перегонной гибридной системы управления движением (с подвижными рельсовыми блок-участками и дополнительным каналом цифровой радиосвязи) позволит обеспечить требуемое повышение пропускной способности.

Применение технологии подвижных блок-участков представляется наиболее эффективным для пропуска оборудованных бортовыми комплексами безопасности поездов на перегонах, оснащенных аппаратурой многозначной системы АЛС-ЕН или системы АЛСН, но в последнем варианте с определенным увеличением интервала попутного следования поездов. Вариант применения системы АЛС-ЕН расширяет возможности использования имеющегося парка локомотивов. Этот вариант системы, внедренный на участках Юго-Восточной и Северо-Кавказской железных дорог, подтвердил практическую возможность пропуска поездов с минимальными интервалами.

Вместе с тем только использование новых систем локомотивной сигнализации не позволит решить задачу увеличения пропускной способности на полигонах в полном объеме. Одновременно необходимо снять полный перечень существующих ограничений, препятствую-

ющих реализации минимального интервала движения поездов. Отмеченные ограничения вносят, прежде всего, станции, имеющие увеличенные по сравнению с перегонными интервалы по приему и отправлению поездов, а также вводимые временные ограничения скорости по состоянию инфраструктуры. Необходимо также увеличить скорости движения поездов на съездах на боковой путь. Разработанное АО «НИИАС» техническое решение на дифференцированном участке удаления, позволяющее сократить интервалы отправления со станции, прошло этап апробации.

Для участков, оборудованных аппаратурой типовой системы АЛСН, базовым является решение с использованием функционального потенциала бортовых комплексов управления и обеспечения безопасности движения поездов (САУТ, БЛОК, КЛУБ-У, ИСАВП-РТ-М и радиомодемов для передачи данных), которое позволит решить задачу сокращения интервала попутного следования и снижения потерь времени движения поезда на «желтый» путем автоматического расчета программной кривой торможения с прицеливанием на препятствие (начало занятого участка впереди идущим поездом).

Применение системы автоведения типа ИСАВП-РТ-М с радиомодемом для передачи данных между локомотивами о параметрах движения поездов, объединенных в «пакете» (по два и более) посредством «виртуальной сцепки» [3], позволяет сократить интервал попутного следования как на участках полигона, так и на участках капитального ремонта пути без модернизации автоблокировки и системы связи. Количество поездов в «пакете» зависит только от перерабатывающей способности станций формирования и приема «пакетов» поездов и мощности тяговой сети.

Данная технология решает ряд проблем, возникающих при пропуске сдвоенных поездов посредством «жесткой сцепки». При организации ИРДП с применением «виртуальной сцепки» не требуется удлинение приемоотправочных путей, уменьшаются пиковые нагрузки на тяговую сеть и время на формирование сдвоенного состава.

Предварительные прогнозы показывают, что за счет применения СИРД пропускная способность участков железных дорог может быть увеличена на 15–20%.

Особое внимание должно уделяться созданию новых систем планирования движения поездов на основе тактического планирования графиков движения на текущие сутки (суточный график) и стратегического планирования движения поездов на более длительные периоды.

Отдельное место занимают системы управления техническими и сортировочными станциями, информирования работающих на пути, контроля планирования работы локомотивных бригад, справочные системы для пассажиров. Весь перечисленный комплекс технических решений должен обеспечить в перспективе повышение уровня автоматизации технологических операций перевозочного процесса.

Важное значение для эффективности работы СУИРД имеет уровень автоматизации процесса ввода информации о технологических процессах, который достигает в настоящее время практически 80%. Имеются резервы для перехода к полной автоматизации ввода информации для обеспечения перевозочного процесса.

Целевой уровень комплексной технологии СИРД – это полная автоматизация технологических процессов с применением систем Автодиспетчер и Автомашинист, безопасных аппаратных и программных комплексов, позволяющих исключить влияние ошибок персонала и обеспечить необходимый уровень безопасности. Перечисленные средства уже сегодня применяются в рамках проекта цифровой железной дороги и ее составной части – подсистемы цифровой железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ). В перспективе развитие такой технологии позволит решить задачу полной замены ДСП на участках средствами СУИРД. Следует учитывать также возрастание доли ремонтных работ, которые проводятся на инфраструктуре с закрытием одного из путей перегона. Если в 2015 году это было 1 500 км пути, то уже в 2021 г. это – 4 500 км.

Таким образом, перед СУИРД ставится задача минимизации интервала попутного следования поездов с учетом обеспечения требуемого уровня безопасности и сокращения времени следования поездов по перегонам и участкам.

Исходя из международного опыта была определена целесообразность организации пакетного движения с использованием принципа «виртуальной сцепки» (ВСЦ). В настоящее время на РЖД проводятся опытные испытания технологии ВСЦ с использованием макетных образцов программно-технических средств.

Следует отметить, что ИРДП является одним из наиболее эффективных способов организации пропуска вагонопотоков. Для увеличения вагонопотоков до настоящего времени широко применялась технология тяжеловесных и сдвоенных поездов, которая имеет свои ограничения. При сокращении межпо-

ездных интервалов происходит увеличение потребности в дополнительных приемо-отправочных путях на технических станциях, в числе локомотивных бригад, персонала для технического и коммерческого осмотра и производства смены локомотивов.

«Виртуальная сцепка поездов» по сравнению с технологией использования тяжеловесных поездов, является более щадящим вариантом для инфраструктуры: снимается проблема воздействия на путь тяжеловесных поездов; снимается проблема продольных динамических усилий в поездах; снимается проблема безопасности функционирования систем автоведения, поскольку последняя работает на ведомом поезде под защитой сертифицированных систем безопасности и средств кибербезопасности.

При разработке проектов СУИРД проводится моделирование инфраструктуры и алгоритмов функционирования системы. На сегодняшний день с участием АО «НИИАС» разработаны модели более 600 технических станций сети. Моделирование используется активно и зарубежными фирмами в качестве обязательного этапа проектирования СУИРД.

В АО «НИИАС» был проведен анализ международного опыта разработки систем класса СУИРД четвертого поколения, к которому относится рассматриваемая разработка. В рамках структуры проектов МСЖД предусматривают развитие систем связи, переход от системы GSM-R к общей системе FRMCS, разработку системы технологического применения интернета вещей и Big Data, разработку пакета стандартов по кибербезопасности и внедрение системы автоведения на базе ERTMS в рамках проекта Shift2Rail. Наиболее интересным вариантом на сегодняшний день является вариант применения совместно действующих традиционных систем управления движения поездов и систем интервального регулирования на базе автоматической автоблокировки с рельсовыми цепями и вариант применения гибридных технологий – модификаций европейский систем уровня ETCS.

При этом ставится задача поэтапного внедрения новых технологий, чтобы могли использоваться локомотивы, оборудованные как новейшими системами управления, так и традиционными системами. Именно этот подход в наибольшей степени можно считать приемлемым для использования в ОАО «РЖД».

Важное место в зарубежных системах занимают центры управления перевозками. Это, в первую очередь, центры систем РТС (США), СВТС (Канада, Евросоюз и Гонконг) и ARAMIS (Германия, Австрия, Испания и другие страны). Указанные центры оснащены системами диспетчерского управления и радио-блоками, а расчет графиков движения проводится в них с учетом разрешения конфликтных ситуаций и

применения энергосберегающих режимов работы подвижного состава. Эти подходы полностью гармонизируются с подходами, выработанными на РЖД.

Отдельно следует отметить, что структура создаваемых систем интервального регулирования должна обеспечивать в перспективе переход к беспилотным технологиям на базе международного стандарта МЭК-62290.

Представляет значительный интерес Европейская программа развития железнодорожного транспорта Shift2Rail. Основной задачей Shift2Rail является разработка, интеграция, демонстрация и валидация инновационных железнодорожных технологий и решений с целью повышения конкурентоспособности и привлекательности европейского железнодорожного сектора.

Приоритетной задачей программы Shift2Rail является демонстрация разработанных технологий для визуализации и тестирования трансформаций. Демонстрации (пилотные проекты) позволяют произвести более точную оценку воздействия каждой новой технологии на работу железнодорожного транспорта (рис. 1).

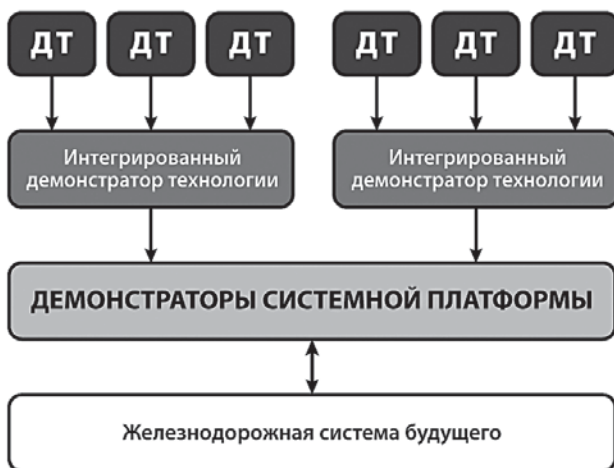


Рис. 1. Структура демонстрации технологий в проекте Shift2Rail

Демонстраторы технологии (ДТ) являются проектами, в которых разрабатывают и демонстрируют отдельную технологию, тестируемую в лаборатории и/или моделируемую на прототипе.

Интегрированные демонстраторы технологий (ИДТ) являются проектами, объединяющими демонстраторы технологий (ДТ) на системном уровне (в лаборатории или на полигоне) и тестирующие программы систем.

Представляет интерес анализ ведущихся в настоящее время в области железнодорожной техники исследований и разработок, определяющих направления развития наиболее эффективных на ближайшую перспективу СУИРД. В ряде международных исследовательских программ рассматривается новая технология интервального регулирования движения поездов, основанная на

использовании «виртуальной сцепки» (ВСЦ). Эта технология заключается в том, что группа попутно следующих поездов управляется как единый объект (поезд/состав), части которого связаны не механически, а при помощи радиоканала передачи данных (рис.2). В частности, концепция ВСЦ отражена в Технической стратегии развития железных дорог Великобритании.



Рис. 2. Технология «виртуальной сцепки»

Основной задачей новой технологии является сокращение межпоездного интервала и значительное повышение пропускной способности железнодорожных линий. Разработчики полагают, что ВСЦ позволит объединять в один состав поезда разных типов, а также динамически менять их число. Среди ожидаемых преимуществ технологии сокращение межпоездного интервала и увеличение пропускной способности линии без строительства новых путей.

Основным принципом функционирования СУИРД является разделение по пути поездов достаточным интервалом, чтобы любой поезд мог остановиться на определенном расстоянии до начала рельсовой цепи, занятой последним вагоном впереди идущего поезда.

Такая технология принята как базовая в ОАО «РЖД» и должна пройти стадию практической реализации, что требует решения ряда сопутствующих задач, включая создание новой СУИРД на базе высокоточного координатного регулирования и широкополосной радиосвязи, предусматривающей обеспечение кибербезопасности и надежную защиту передаваемой информации.

Важнейшей в новой системе является задача организации системы радиосвязи между поездами. В качестве возможных решений рассматриваются радиосвязь поезд-поезд, внешняя сеть связи или выделенная сеть железнодорожной связи.

Направления работ по реализации ВСП охватывают широкий спектр вопросов. В их числе: анализ безопасности и эффективности, разработка архитектуры системы и ее спецификации, разработка функциональных требований к системе и ее функциональным интерфейсам и др.



Рис. 3. Переход к СУИРД четвертого поколения

Разработка и использование гибридных систем (на базе совместного использования рельсопроводных и радиоканалов передачи информации) предлагается как приоритетное направление построения СУИРД в предположении, что технология передачи информации и контроля занятости участков пути по рельсовым цепям сохранит свою актуальность на ближайшие годы.

Развитие систем управления движением поездов в ОАО «РЖД» реализуется путем последовательной (от проекта к проекту) автоматизации определенных технологических операций.

Новое направление развития системы управления верхнего уровня в ОАО «РЖД» представлено проектом ИСУЖТ (единая интеллектуальная система управления и автоматизации производственных процессов на железнодорожном транспорте), которая должна стать базовой для использования новейших научных разработок, ориентированных на повышение качества транспортного обслуживания и оптимизацию взаимодействия всех производственных подразделений ОАО «РЖД» [4].

ИСУЖТ автоматизирует сквозные процессы для дирекций управления движением, тяги, инфраструктуры и центра фирменного транспортного обслуживания. Эта глобальная система должна охватить всю производственную деятельность ОАО «РЖД». Диспетчеру, который решает задачи планирования, согласования и контроля, в ИСУЖТ соответствует интеллектуальный программный модуль – планировщик. Дорожная карта ИСУЖТ уточняет долгосрочные и среднесрочные планы и должна обеспечивать выполнение заданных показателей на всех горизонтах планирования.

Функциональная роль ИСУЖТ как современной управляющей системы состоит в формировании пла-

нов и регулировочных заданий как для диспетчерского персонала, так и в формировании управляющих заданий для локомотивов и объектов инфраструктуры.

Подсистема ИСУЖТ «Диспетчерское управление движением поездов» решает задачи автоматизация функций поездных диспетчеров и диспетчеров по направлению по автоматическому построению плана пропуска поездов в режиме реального времени на основе методов «искусственного интеллекта».

Следует отдельно отметить особенности построения системы интервального регулирования на МЦК. По сути, МЦК стало главным полигоном ОАО «РЖД» для отработки целого комплекса инновационных решений, в том числе здесь активно применяются новейшие цифровые методы имитационного моделирования при выработке команд управления. Именно этот подход определил успешное решение задачи перехода к 5-ти и 4-х минутным интервалам движения поездов.

Переход к системе управления и контроля 4-го поколения предусматривает решение задач, которые отражены на рис.3. В первую очередь, это внедрение новейших систем автоблокировки типа АБЦТ–МШ с подвижным блок-участком, разработка универсальных бортовых устройств безопасности с многоканальными связями с устройствами автоведения, а также развитие интеллектуальной системы управления на базе ИСУЖТ, обеспечивающей комплексную автоматизацию диспетчерского управления. Такие требования полностью гармонизируются с требованиями к концепции 4.0 Европейских железных дорог.

В общей структуре управления движением необходимо комплексно автоматизировать работу станций. Предусматривается цифровое описание инфраструктуры в рамках высокоточной координатной системы с 3D моделями пути, автоматизация диспетчерского

управления, имитационное моделирование, а также автоматизация выправки пути, электронные карты маршрутов локомотивов, точное навигационное позиционирование и переход к системам автомашинист. Безусловно при этом возрастает роль задач киберзащиты и информационной безопасности.

Работу перспективной СУИРД будем рассматривать в рамках трехуровневой структуры (рис.4), в которой **на нижнем уровне** находятся поезда, оснащенные бортовыми комплексами безопасности и автоведения, выполняющими функции регулирования допустимых скоростей движения и выполнения расписания движения.

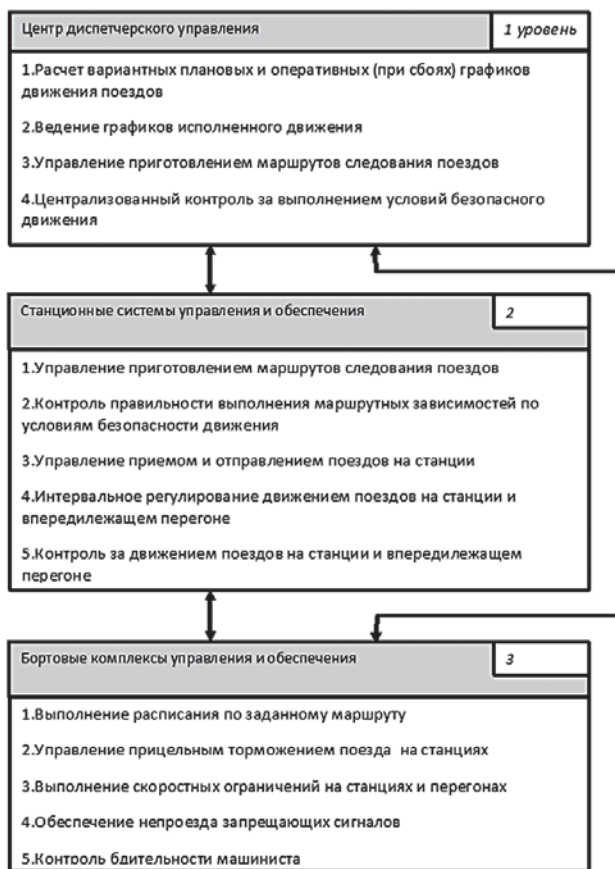


Рис. 4. Структурная схема СУИРД

На среднем уровне системы предусматривается автоматическая установка маршрутов, интервальное регулирование поездов как по радиоканалу, так и по рельсовым цепям, а также минимизация напольного оборудования, предназначенного для создания каналов обмена информацией с поездами.

Верхний уровень системы наделен наибольшим интеллектом. Он обеспечивает контроль за выполнением графика движения поездов, распознавание и решение конфликтных ситуаций, формирование команд на автоматическую установку маршрутов и управления поездом. Именно решение конфликтных ситуаций является главной технологической задачей данного уровня.

Важное место в СУИРД имеют ЦУПы всех уровней. Уровень технологии сбора информации при планировании интервального регулирования базируется на технологической взаимосвязи ЦУПов всех уровней управления. Предусматривается использование региональных и полигонных ЦУПов. Их задачей является формирование технологически связанной структуры управления как единой технологии управления полигонами и в целом сети.

Необходимость развития цифровых сетей связи в рамках многоуровневой СУИРД подтверждает проект построения сети связи для ВСМ, в рамках которой предусматривается развитие систем передачи данных по проводным линиям, в первую очередь, волоконным линиям оптической связи, создание системы единого времени, централизация системы оповещения, а также применение «интернета вещей» наряду с развитием системы цифровой радиосвязи.

Бортовые системы обеспечения безопасности в СУИРД фактически являются наиболее ответственным уровнем, принимающим решения о допустимой скорости движения, месте остановки и режиме торможения перед «препятствием» на основе информационных и сигнальных информационных сообщений, получаемых по радиоканалу от центра радиоблокировки и по рельсовой линии – от микропроцессорной системы управления.

При этом программное обеспечение (ПО) бортовых устройств безопасности должно поддерживать более ранние версии ПО. Аналогичными бортовыми устройствами безопасности должен быть оборудован специальный подвижной состав, задействованный для технического обслуживания и ремонта инфраструктуры, оказания помощи в нестандартных ситуациях или пропуска поездов смежных железных дорог.

Бортовые устройства индикации (монитор) должны обеспечивать отображение режимов поездного, маневрового передвижения и маршрута движения с учетом плана станции.

Эффективное применение технических средств и технологических решений по диагностике и мониторингу объектов инфраструктуры в СУИРД обеспечивается в рамках создания автоматизированной системы технической диагностики и мониторинга инфраструктуры и природно-климатических условий (АСТДМ) [5].

АСТДМ должна быть интегрирована с СУИРД, что обеспечит повышение безопасности движения и снизит отрицательное влияние человеческого фактора на принятие ответственных решений. Получая информацию как от аппаратуры СУИРД (о ее техническом состоянии), так и от комплекса датчиков, контролирующей свободу пути в габаритах подвижно-

го состава, уровень осадков, сейсмоопасность и т.д., АСТДМ формирует предупреждения о необходимости снижения скорости или о полной остановке поездов и обеспечивает их передачу на подвижной состав. С учетом уровня ответственности передаваемой информации устройства АСТДМ должны отвечать требованиям безопасности уровня SIL4.

Таким образом, в статье рассмотрены основные принципы построения современной перспективной СУИРД 4-го поколения, базирующейся на фундаменте созданных в ОАО РЖД систем ИСУЖТ, управления ВСМ, «цифровой железной дороги» и новейших технологиях «виртуальных сцепок» поездов, обеспечивающей дальнейшее повышение пропускной способности направлений железных дорог без строительства новых линий.

Литература:

1. Розенберг Е.Н., Батраев В.В. Инновационное развитие систем интервального регулирования // «Автоматика, связь, информатика», 2018, №7, стр.5-9.
2. Озеров А.В. Эволюция европейских систем управления движением поездов // «Железные дороги мира», 2018, №11, стр.64-73.
3. Mitchell I. ERTMS Level 4, Train Convoys or Virtual Coupling // IRSE News – 2016. – № 219.
4. Розенберг И.Н., Розенберг Е.Н. Интеллектуальные системы управления движением поездов // «Экономика железных дорог», 2016, №8, стр.9-16.
5. Пронкин А.В. Создание системы технической диагностики и мониторинга инфраструктуры и природно-климатических условий // «Железнодорожный транспорт» 2019, № 3, стр.44-47.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Розенберг Ефим Наумович**
Москва, АО «НИИАС», первый заместитель генерального директора, доктор технических наук, профессор



СЕКЦИЯ №1

УПРАВЛЕНИЕ ПЕРЕВОЗОЧНЫМ ПРОЦЕССОМ, ПЛАНИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПЕРЕВОЗОК

УДК 65.011.56, 656.22

Андросюк К.В.

Моделирование работы полигона для заданных объемов движения с использованием КЗ ИСУЖТ ГДП

Внедрение комплекса задач «Разработка нормативного графика» ИСУЖТ призвано изменить технологию создания нормативного графика движения поездов. Текущая технология подразумевает пониточную прокладку поездов по участкам с дальнейшей увязкой по техническим станциям (рис.1). В соответствии с ней зафиксированный набор исходных данных (инфраструктура полигона, времена хода, межпоездные и станционные интервалы) используются при прокладке нитки за ниткой. Затем проложенные по участкам нитки увязываются по стыковым станциям. Это очень затратный по времени и труду процесс. График на большом участке для одного набора параметров строится неделями. Это делает результирующий график слишком ценным, чтобы экспериментировать при его создании. Данные для него выверяются до начала построения и должны оставаться неизменными. График создается на год и, конечно, в него вносятся изменения в течение года. Однако влияние любых изменений необходимо локализовывать, чтобы не вызвать крупную переработку графика.

Новая технология позволяет создавать графики гораздо быстрее – в течение часов (рис.2). Это позволяет варьировать и перенастраивать исходные данные без опасения не получить приемлемый результат в установленный срок. Автоматика строит график, который в некоторых случаях может быть доработан вручную, специальные алгоритмы позволяют проанализировать полученный в результате график. Если весь график на полигон может быть перестроен в течение нескольких часов, то технолог по разработке графика получает возможность не только создавать график и минимально его корректировать, но и регулярно перестраивать его, адаптируя под текущую или перспективную ситуацию. Это создаст условия для организации грузового движения по расписанию.

С помощью КЗ ИСУЖТ ГДП можно моделировать работу полигона, прогнозируя влияние изменений технологии и инфраструктуры на перевозочный процесс. С помощью КЗ ИСУЖТ ГДП подобная задача уже решается командами АО «НИИАС» и АО «ИЭРТ» в рамках моделирования пропускной способности перспективных объемов движения и оценки пропускной способности Восточного полигона ОАО «РЖД».



Рис. 1. Текущая технология разработки ГДП



Рис. 2. Новая технология разработки ГДП (с помощью ИСУЖТ)

Далее рассмотрим пример работы с КЗ ИСУЖТ ГДП в рамках задачи моделирования пропуска перспективных объемов движения по Восточному полигону, которую команда АО «НИИАС» решала по заданию ЦД ОАО «РЖД».

Входными данными для задачи являлись расчетные перспективные объемы движения по участкам (рис.3). При росте количества пропускаемых поездов по участкам повышаются требования к техническим станциям, на которых должны быть переработаны большее количество поездов. Целью моделирования стала проверка возможности пропуска заданного количества поездов по полигону и оценка возможной недостаточности путевого развития на отдельных пунктах при варьировании межпоездного интервала. Таким образом, количество путей нужной специализации и длины наряду с соответствием заданию количества построенных ниток явились выходными параметрами процесса моделирования.

№ п/п	Наименование участков	Годы	Размеры движения поездов				Потребная пропускная способность	Коэффициент использования	Мероприятия по обеспечению перевозок
			Грузовые поезда в сутки		Пассажирские поезда/сутки				
			Тура	Обр.	Пригородный	Дальний			
4	Слюдянка (Слюдянка II) - Иркутск (Гонимово)	2025	84	86	8	17	136	1,13	Усиление устройств электрооборудования, Реконструкция Большой Луг, Иркутск, Строительство 3-го пути Слюдянка I - Слюдянка 2, Реконструкция Иркутск
		2030	83	85	9	17		0,97	
5	Сулдовскан - Ангарск	2025	87	90	11	17	152	0,7	Усиление устройств электрооборудования
		2030	83	88	12	17		0,71	
6	Ангарск - Китой	2025	87	90	11	17	155	0,72	Усиление устройств электрооборудования
		2030	83	88	12	17		0,72	
7	Китой - Майла	2025	87	90	11	17	156	0,81	Усиление устройств электрооборудования
		2030	83	89	12	17		0,78	
8	Майла - Черемнов	2025	88	91	10	17	156	0,84	Усиление устройств электрооборудования
		2030	86	89	11	17		0,85	
9	Черемново - Зима	2025	84	87	3	17	145	1,04	Усиление устройств электрооборудования
		2030	82	85	3	17		0,93	
10	Зима - Алей	2025	85	88	2	17	145	1,16	Усиление устройств электрооборудования
		2030	83	86	2	17		0,99	
11	Алей - Турун	2025	83	86	2	17	142	1,15	Усиление устройств электрооборудования
		2030	81	84	2	17		0,89	
12	Турун - Тайшет	2025	81	83	2	17	140	1,01	Реконструкция Барысовск, Тайшет, Усиление устройств электрооборудования
		2030	78	81	2	17		0,9	
13	Ильбабинан - Новая Чапа	2025	42	42	0	3	49	1,93	Строительство 1 разряда, строительство виазов путей 73,8 км

Рис. 3. Задание на моделирование пропуска перспективных объемов движения

Задания по небольшим участкам (рис.4) были увязаны и укрупнены благодаря работе специальных алгоритмов. Были сгенерированы задания на нитки по максимально длинным маршрутам, которые удовлетворяли входному условию на объемы движения по небольшим участкам (рис. 5). Было признано целесообразным строить график частями на крупных участках полигона, разделенных ключевыми техническими станциями, а затем увязывать их в единый полигонный график с помощью специального алгоритма.

Маршрут	Чет. поездов	Чет. поездов	Чет. транзитов	Чет. транзитов	Масс. тонн	Длина в ваг.
Киржак Вост ЭЦ-1 - Кельчуг	68	68	10	10	-	-
Кельчуг - АЧИНСК I	68	68	10	10	-	-
АЧИНСК I - МАРИНСК	62	62	11	11	-	-
Тайшет - Решоты	84	84	10	10	-	-
Решоты - Иланская	82	82	10	10	-	-
Иланская - Завоерная	83	83	10	10	-	-
Завоерная - Уяр	80	80	10	10	-	-
Уяр - Киржак Вост ЭЦ-1	68	68	10	10	-	-
Иркутск Сорт - Мегет	88	90	12	12	-	-
Мегет - Суловская	87	89	12	12	-	-
Суловская - Ангарск	87	89	12	12	-	-
Ангарск - Китой	87	89	12	12	-	-
Китой - Майла	87	89	12	12	-	-
Майла - Черемново	87	89	12	12	-	-
Черемново - Зима	82	85	12	12	-	-
Зима - Алей	84	86	12	12	-	-

Рис. 4. Исходные задания, переведенные в систему

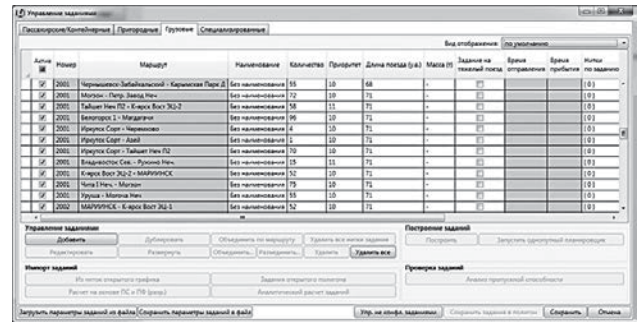


Рис. 5. Увязанные по полигону задания на нитки

В целом схема работы КЗ ИСУЖТ ГДП при решении поставленной задачи заключалась в следующем (рис.6):



Рис. 6. Схема работы КЗ ИСУЖТ ГДП

1. Были заданы исходные данные и настраиваемые параметры:
 - путевое развитие перегонов и станций;
 - времена хода различных категорий поездов;
 - межпоездные и станционные интервалы;
 - задания на нитки (поездопотоки);
 - приоритет пропуска ниток;
 - настройки допустимых ст
 - настройка работы толкачей и локомотивных бригад;
 - выбор оптимизационных критериев.
2. На их основе производилось автоматическое построение ГДП:
 - автоматическое построение графика на однопутных участках с помощью мультиагентных технологий;
 - автоматическое построение графика на двух- и многопутных участках с помощью эвристического алгоритма;
 - увязка графиков отдельных участков в единый полигонный график с подвязкой стоянок к станционным путям.
3. Полученный график анализировался по следующим параметрам:
 - участковая скорость в целом по графику, по отдельным ниткам и по категориям;

- маршрутная скорость в целом по графику, по отдельным ниткам и по категориям;
- размеры грузового движения;
- загруженность (или перегруженность) технических станций;

В КЗ ИСУЖТ ГДП создан большой набор аналитических инструментов для оценки полученного графика. Программа может определить узкие места, не позволяющие увеличить объемы движения на участке или полигоне (рис. 7). После автоматического построения графика можно получить список безостановочных участков, на которых невозможен обгон пассажирскими и ускоренными контейнерными поездами обычных грузовых. Также видна загруженность путей на технических станциях.

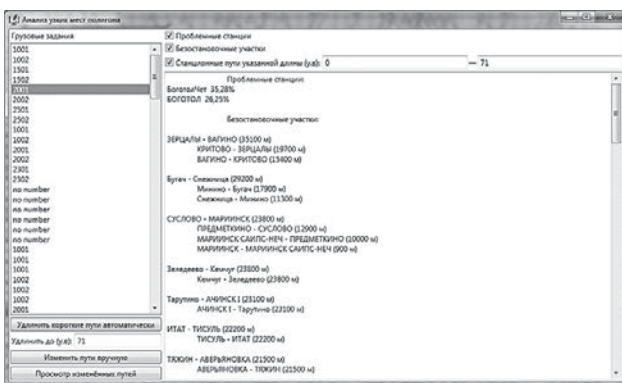


Рис. 7. Окно анализа узких мест полигона

На основе полученной информации оператор может перенастроить параметры модели. Также ИСУЖТ ГДП способен автоматически создавать целые наборы графиков, варьируя заданные параметры. Для описываемой задачи таким параметром был межпоездной интервал. После получения графиков по участку на различных интервалах оператор просматривал аналитический отчет по узким местам и, разрешая программе использовать на некоторых станциях дополнительные виртуальные пути достаточной длины, запускал построение графика снова.

№...	Наименование участка	Задание		Процент выпо...		Интервал		Комментарий
		Меч.	Чет.	Меч.	Чет.	Меч.	Чет.	
0	Иркутск-Сая - Мелег	88	90	100	100	8	8	Удлинено путей: 2 Станция с удлиненными путями: 1 Удлиненный путь: Мелег: 5 (66 => 71), 6 (57 => 71);
1	Мелег - Суловская	87	89	100	100	8	8	Удлинено путей: 2 Станция с удлиненными путями: 1 Удлиненный путь: Мелег: 5 (66 => 71), 6 (57 => 71);
2	Суловская - Ангарск	87	89	100	100	8	8	Удлинено путей: 1 Станция с удлиненными путями: 1 Удлиненный путь: Ангарск: 6 (63 => 71);
3	Ангарск - Китой	87	89	100	100	8	8	Удлинено путей: 3 Станция с удлиненными путями: 2 Удлиненный путь: Китой: 10 (60 => 71), 8 (65 => 71); Ангарск: 6 (63 => 71);
4	Китой - Малата	87	89	100	100	8	8	Удлинено путей: 4 Станция с удлиненными путями: 2 Удлиненный путь: Китой: 10 (60 => 71), 8 (65 => 71); Уголь-Сибирь 7 (66 => 71), 6 (67 => 71);

Рис. 8. Пример результирующего отчета

В результате многократных итераций построения графика были автоматически получены отчеты, из которых видно, сколько путей на каких станциях необходимо удлинить, чтобы переработать и пропустить запрошенные объемы движения (рис. 8). Такие отчеты были созданы для разных межпоездных интервалов.

Задача решалась в увязке с комплексом задач ИСУЖТ ТС. С помощью него проверялись на выполнимость начальные и полученные с помощью КЗ ИСУЖТ ГДП станционные и межпоездные интервалы (рис. 9). В ИСУЖТ ТС моделировался пропуск поездов по полученному в ИСУЖТ ГДП графику в пределах ключевых технических станций. На всех этих станциях путевое развитие, устройства СЦБ и технология работы ограничивали снизу межпоездной интервал, который мог быть использован при моделировании работы участка и полигона.



Рис. 9. Схема взаимодействия ИСУЖТ ГДП с ИСУЖТ ТС

Заключение.

Как показывает приведенный пример, с помощью современного программного обеспечения, созданного для разработки нормативного графика движения поездов (КЗ ИСУЖТ ГДП), может быть успешно решена не только задача создания нормативного ГДП на год и его небольшой корректировки в течение года. Задачи, решение которых становится возможно, гораздо шире. С помощью ИСУЖТ ГДП можно анализировать пропускную способность, моделировать влияние технологических изменений на пропускаемые объемы движения, оценивать отдачу от инвестиций в развитие станций и участков сети железных дорог. Ну а нормативный график движения может меняться коренным образом в течение года, подстраиваясь под конъюнктуру перевозок в оперативном режиме.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

- Андросюк Кирилл Викторович
Москва, АО «НИИАС», начальник отделения автоматизации графика движения поездов
k.androsyuk@vniias.ru

Ефремов Г.А.

Проблемы и особенности автоматического диспетчерского управления движением поездов

Введение

Целью подпроекта по диспетчерскому управлению движением поездов является автоматизация решений и действий поездных диспетчеров с помощью построения плана пропуска поездов в реальном режиме времени на основе методов искусственного интеллекта. Он замыкает цепочку управления движением и переходит от планирования к непосредственному исполнению.

Именно благодаря этому комплексу задач планы, рассчитанные на предшествующих этапах другими комплексами задач ИСУЖТ, могут быть претворены в жизнь.

Функционал подпроекта приведен на рис. 1.

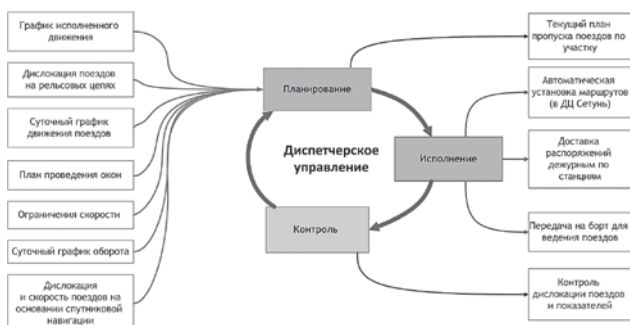


Рис. 1.

Внедрение автоматического управления

На трех направлениях Октябрьской железной дороги программное обеспечение уже сдано в постоянную эксплуатацию. На ней же в этом году была апробирована технология передачи рассчитанного плана пропуска на борт грузового локомотива.

В настоящее время производится опытная эксплуатация на Восточно-Сибирской железной дороге. Особенно интересны участки Байкало-Амурской магистрали, где внедряется полнофункциональный вариант с автоматической установкой маршрутов.

С точки зрения движения поездов БАМ характеризуется большими однопутными участками и тяжелым рельефом местности, где грузовым поездам на промежуточных перегонах требуется подталкивающий локомотив. Полномерное планирование работы подталкивающих локомотивов – технологически

сложная задача. Первая сложность, связанная с этой проблемой, состоит в том, что в большинстве случаев парк толкачей не выделен, то есть в роли подталкивающих локомотивов используются поездные. По согласованию с заказчиком выбор подталкивающих локомотивов оставили на усмотрение пользователя. Вторая сложность заключается в том, что не удастся отделить задачу планирования использования подталкивающих локомотивов от планирования пропуска поездов. Это довольно сильно усложняет задачу, но специалисты института все-таки справились с ее решением.

Сложности

В ходе эксплуатации системы в реальной поездной обстановке мы сталкиваемся с ситуациями, в которых диспетчер довольно часто принимает решение в последний момент.

Например, скрещение двух грузовых поездов. В общем случае первый подъезжающий к станции поезд встает на боковой путь, второй проследует по главному, что схематично отображено на рис.2. Если два поезда подъезжают к станции примерно одновременно, то заранее неизвестно, который из них лучше «взять на бок».

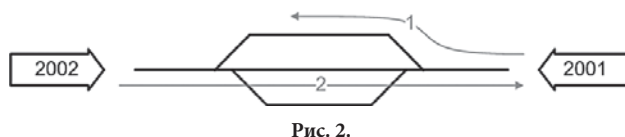


Рис. 2.

Ситуация посложнее: двойное скрещение, изображенная на рис. 3а. Первый подъезжающий к станции поезд встает на боковой путь, второй и третий проследуют по главному.

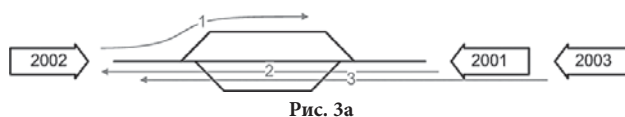


Рис. 3а

Но если поезд 2002 задержится с въездом на боковой путь, то 2001 не успеет во время отправиться, и 2003 необходимо принять на боковой путь во избежание задержки у входного сигнала, как показано на рис 3б.

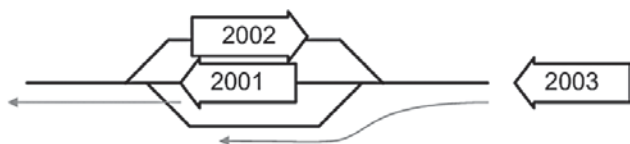


рис. 3б.

Еще пример. Выбор станции пропуска грузовым поездом пассажирского. Система, опираясь на нормативы, запланировала обгон на разъезде №2, график которого изображен на рис 4а.

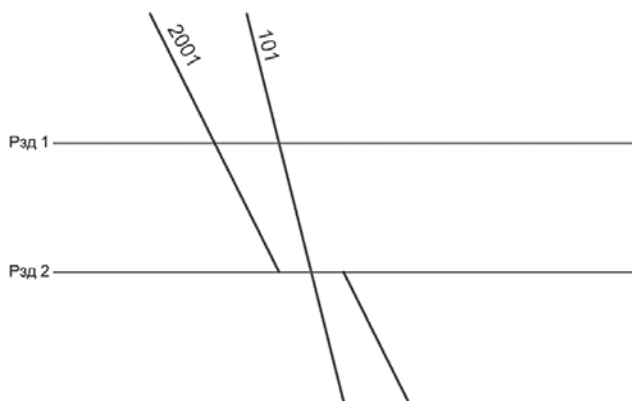


рис. 4а.

Диспетчер не уверен в том, что грузовой поезд выдержит нормативное время хода и предпочитает более надежное решение, показанное на рис 4б, с обгоном на разъезде №1, хотя в этом случае участковая скорость ниже.

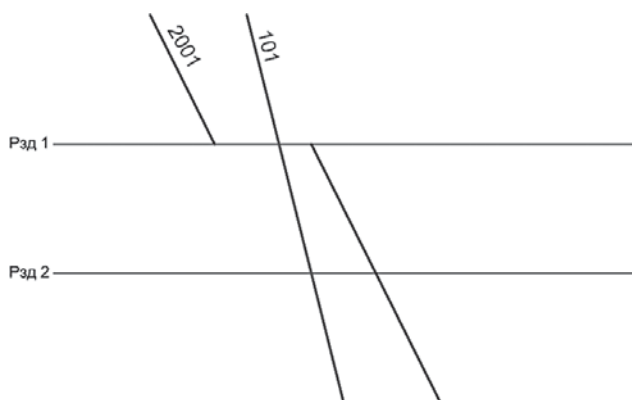


рис. 4б.

Но если 2001 к разъезду №1 будет подходить вовремя, то диспетчер пропустит его до разъезда №2.

Подобных ситуаций встречается 2–3 за смену (12 часов), они требуют особого внимания поездного диспетчера.

Как видно из описания, во всех разобранных ситуациях действия диспетчера логически объяснимы и понятны. Реализация этой логики в программном коде тоже не представляет сложности.

Однако, возникает вопрос при эксплуатации. Диспетчер, включая автоматическое управление, должен понимать, что собирается сделать автомат. По каждой станции в каждый момент времени диспетчер видит очередь команд на установку маршрутов, которые собирается выполнять автомат. Если же предоставить возможность самому автомату изменять эти команды непосредственно перед исполнением, доверие к системе снизится, так как не будет уверенности, что автомат будет исполнять именно то, что показано на текущий момент.

Заключение

В ходе опытной эксплуатации подпроекта «Диспетчерское управление движением поездов» основное внимание уделяется автоматическому управлению: оценке выполнимости плана пропуска, непосредственному исполнению и автоматическому пересчету плана в случае отклонений. Автоматическое управление в сравнении с ручным имеет ряд особенностей технического, технологического и организационного характера. Большинство проблем, проявившихся в течение эксплуатации, решены. Поездные диспетчеры начинают использовать автоматическое управление в подконтрольном со стороны разработчика режиме.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

- **Ефремов Георгий Александрович**
Москва, АО «НИИАС»,
руководитель проектов
g.efremov@vniias.ru



Кисиль Ю.А.

Технология детализированного сменно-суточного планирования поездной работы полигона

Основным технологическим инструментом оперативного управления грузоперевозками является сменно-суточное планирование, в рамках которого осуществляется разработка суточного и сменного планов поездной работы, а также их корректировка с учетом реально складывающейся обстановки в эксплуатационной работе.

Цель оперативного планирования поездной и грузовой работы в ОАО «РЖД» – обеспечить в конкретных условиях планируемого периода безусловное и качественное выполнение принятых перевозчиком и согласованных владельцем инфраструктуры заявок на перевозки грузов, перемещение вагонов (принадлежащих операторам, собственникам) с минимальными затратами.

Взаимосвязь периодов работы оперативно-диспетчерского персонала (ДЦУП) и ЦУП ВП при разработке сменно-суточных планов поездной и грузовой работы на примере Восточного полигона представлена на рисунке 1.

В настоящее время, в связи с оптимизацией штата, в структурных подразделениях ОАО «РЖД» – Красно-

ярской и Дальневосточной дирекциях управления движением, а также в Дирекции управления движением на Восточном полигоне, существует проблема формирования и внесения данных плановых размеров ССП в автоматизированные системы (АС ССП), что негативно сказывается как на качестве эксплуатационной работы Восточного полигона, так и на эксплуатации комплексов задач и модулей ИСУЖТ, использующих эти данные.

Примером конфликтов в планировании могут быть брошенные поезда, ухудшающие условия работы полигона. Так на 18 ноября 2019 года количество брошенных поездов в границах Дальневосточной железной дороги составляло 155 единиц, или 44,5% от общего числа поездов на Восточном полигоне. Большая часть отставленных от движения поездов простаивает по причинам не зависящих от перевозчика. К примеру, на Забайкальской железной дороге 33% поездов простаивают по причине не приема грузополучателями, 49% – по причине затруднений на пограничных переходах.

Фактические размеры вагонопотоков, погрузки и выгрузки в каждые сутки могут существенно отклоняться от их среднесуточных значений, принятых

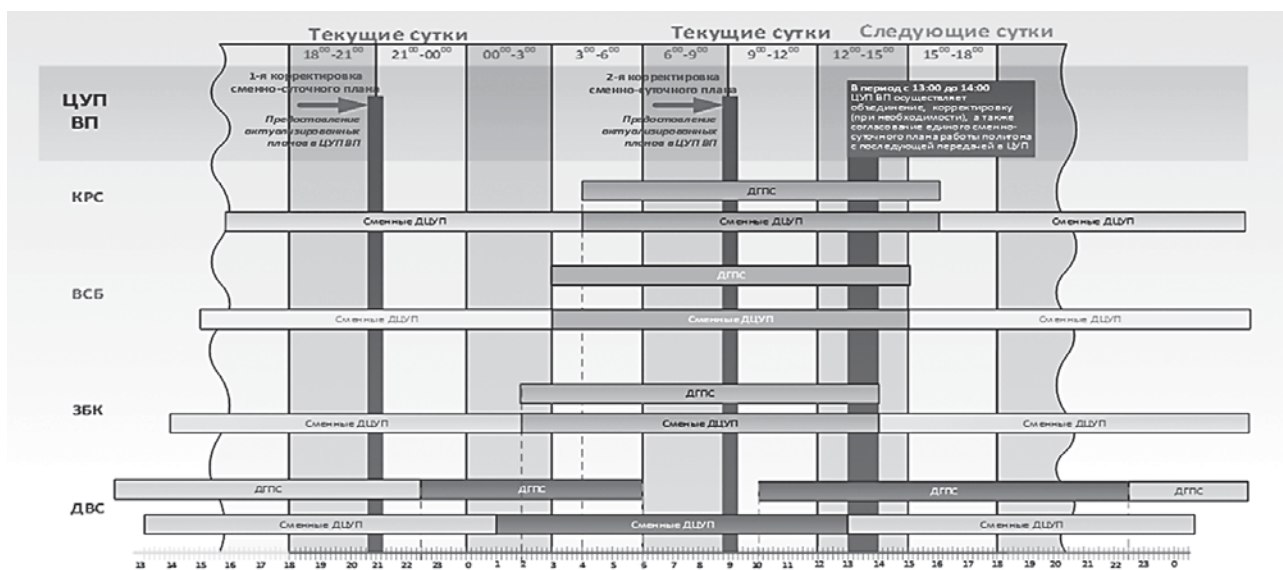


Рис. 1. Взаимосвязь периодов работы оперативно-диспетчерского персонала при сменно-суточном планировании поездной и грузовой работы Восточного полигона

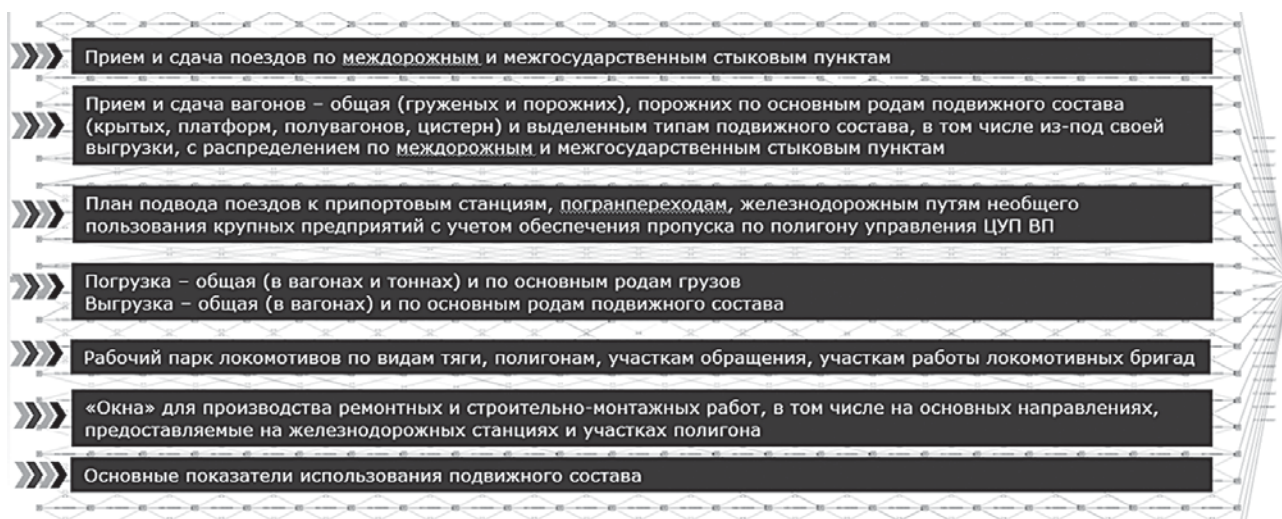


Рис.2. Задания, регламентируемые комплексным сменно-суточным планом для полигона ЦУП ВП

при техническом нормировании. Такие отклонения возникают в результате сверхплановых заданий и регулировочных мероприятий, таких как сгущение погрузки, отклонение вагонопотоков на параллельные направления, предоставление ремонтно-путевых окон и т.д.

Устранить эти противоречия призвана функциональная подсистема ИСУЖТ, автоматизирующая процесс сменно-суточного планирования поездной работы полигона. Главным преимуществом автоматизации расчета плановых заданий относительно ручного расчета является применение критериев оптимальности распределения вагонопотока на существующей инфраструктуре сети. Освоение объема работы предстоящих суток (смены) выполняется с учетом выполнения технических норм, графика движения и плана формирования поездов, а также рационального использования подвижного состава, пропускной способности железнодорожных линий и станций в конкретных условиях данных суток. В рамках ИСУЖТ впервые решается задача детализированного пониточного сменно-суточного планирования поездной работы полигона. Если ранее сменно-суточный план работы полигона содержал лишь общие сведения об объемах грузовой, поездной, сортировочной работы без детализации, то в настоящее время планируется организация пропуска каждого существующего и формируемого в предстоящем периоде поезда.

Основная цель работ – совершенствование методов ССП поездной работы полигона с целью повышения эффективности управления эксплуатационной работой.

Разрабатываемые сменно-суточные планы должны обеспечивать эффективную, равномерную и ритмичную организацию эксплуатационной работы полигона с учетом:

- выполнения плана подвода поездов к припортовым станциям, погранпереходам, железнодорожным путям необщего пользования крупных предприятий;
- эффективного использования инфраструктуры и возможностей оперативно-диспетчерского персонала, в том числе по временному отставлению от движения/подъему грузовых поездов с неостребованным грузом и поездов с порожними вагонами;
- равномерного и эффективного использования технических и технологических ресурсов полигона.

Для отработки оптимизационных алгоритмов автоматизации расчета ССП выбран пилотный полигон в границах Забайкальской железной дороги, а в качестве планируемых заданий – план приема и сдачи поездов и вагонов по междорожным стыкам, а также план поездной работы выделенных технических железнодорожных станций.

Для решения задачи поиска оптимального пропуска потока вагонов на графе сети используется алгоритм проталкивания предпотока Гольдберга. Основными критериями оптимизации являются: сокращение времени простоя транзитных вагонов без переработки и увеличение скорости их продвижения по полигону (маршрутной скорости).

Основной задачей алгоритма является пропустить через граф сети весь фактический и плановый потоки вагонов, достигнув при этом оптимального значения таких показателей, как маршрутная скорость и средний простой транзитного вагона без переработки (на начальном этапе). Улучшение этих показателей достигается за счёт оптимального распределения вагонопотока по инфраструктуре (между станциями) и распределения по временным периодам. К примеру: если на



Рис.3. Схема информационных потоков для формирования сменно-суточного плана поездной работы полигона в ИСУЖТ

впереди лежащей станции по маршруту следования поезда к моменту планового прибытия отсутствует возможность его приема (емкость станции использована), алгоритм не будет использовать пропускную способность этим поездом, а отправит другой поезд, маршрут для которого будет обеспечен. Таким образом в процессе поиска оптимальности алгоритм умеет отменять принятые решения и обходить места с недостаточной пропускной способностью. В ходе расчета ССП определяются оптимальные времена проследования транзитным поездопотоком технических станций и стыков. Потребителем этой информации являются КЗ УТР и УТХ, которые автоматизируют расчет плана подвязки локомотивов и бригад к поездам, отправляемым на нитки графика.

В перспективе, планируется использовать этот алгоритм и для решения задач планирования предъявления и подвода вагонов грузополучателям.

Результатом решения алгоритма является сменно-суточный план с максимальным для данной инфраструктуры и дорожной ситуации значением вагонопотока на сутки, требуемой маршрутной скоростью поездов и минимальным значением простоя транзитного вагона без переработки на технической станции.

На рисунке 3 представлена схема информационных потоков для формирования сменно-суточного плана поездной работы полигона. Исходные данные для алгоритма сменно-суточного планирования поездной работы полигона:

- технические планы эксплуатационной работы на месяц;
- динамическая модель перевозочного процесса, фиксирующая дислокацию и состояние поездов,

вагонов, грузовых отправок и локомотивов из АСОУП, включая операции, влияющие на дислокацию грузовых вагонов на путях станций и данные о проследовании поездов из ГИД-Урал.

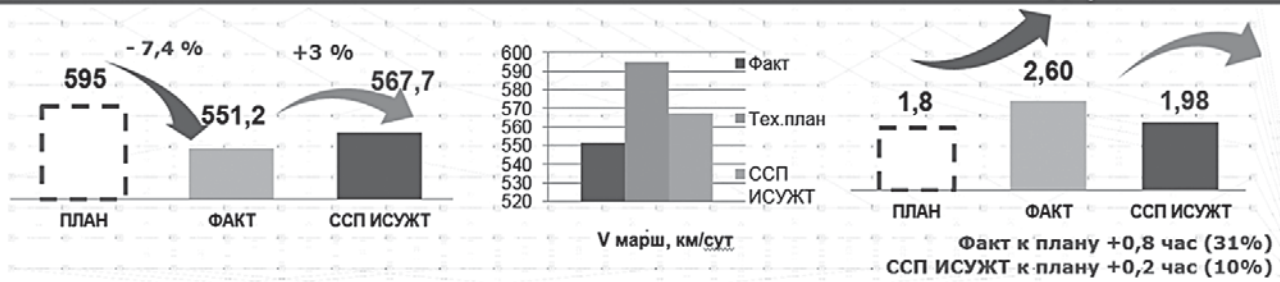
- суточный клиентский план погрузки и прогноза предъявления груза на декаду из АС ЭТРАН (не поступает)
- план формирования и маршрутизации поездов из АСОВ ПФ;
- план подвода поездов к припортовым станциям из ДИЛС АСУ МР;
- нитки актуального графика в качестве плановых размеров движения;
- описание топологии полигона, характеристики поездоучастков, узлов и станций;
- нормативы времени на технические операции с вагонами и поездами по станциям из ТРА/ТП ИСУЖТ НС;
- текущее состояние вагонного парка на станциях с их распределениями по технологическим группам жизненного цикла.

Отмечу, понятную многим из присутствующих, важность качества входных данных для решения задачи планирования. Для ССП критически важны актуальные данные о пропускных способностях участков и данные о клиентской плановой погрузке.

Сдерживающими факторами в повышении качества разработанного ССП являются отсутствие на предстоящие сутки следующих данных:

- плановый актуальный график на следующие сутки (есть только на текущие сутки);
- объективные качественные данные о плановой клиентской погрузке по станциям (заявленный

Различия значений показателя на Забайкальской железной дороге



Простой транзитного вагона без переработки. Рейтинговая оценка станций Забайкальской дороги на 16.10.2019 г.

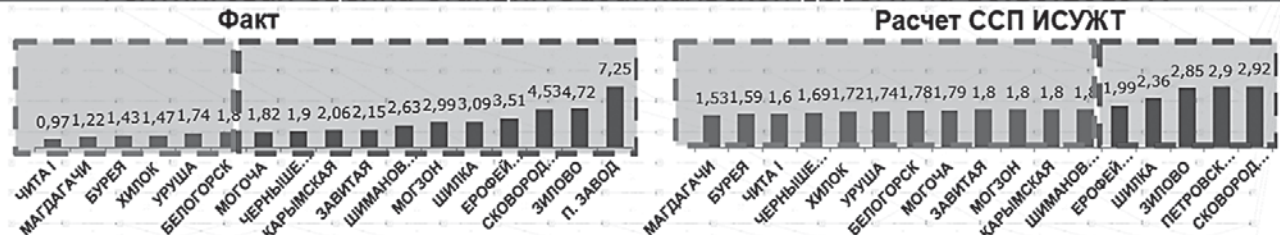


Рисунок 4. Маршрутная скорость и простой вагона по плану ССП ИСУЖТ

клиентами график подачи вагонов в ГУ-12 исполняется слабо);

- данные о плановой клиентской выгрузке вагонов и выдачи порожних вагонов на инфраструктуру общего пользования;
- информация о плановом развозе местного груза.

По результатам расчёта планировщика формируются суточный (и далее сменный) план пропуска поездов, который содержит расписание движения грузовых поездов на полигоне на текущие и предстоящие сутки с детализацией до поездоучастков и технических станций. Рассчитывается также план следования имеющих поездов на полигоне до станции назначения, что позволяет формировать предварительный план подвода поездов к припортовым станциям на несколько суток вперёд для дальнейшей работы с ним в логистическом центре (ДИЛС).

На основе этих данных формируется рекомендуемый ССП передачи поездов по стыкам полигона и ССП обработки поездов по техническим станциям, которые ранее вводились вручную. Результаты работы планировщика используются для планирования тяговых ресурсов на полигоне и формирования ССП обмена поездов по стыковым пунктам.

По результатам пробных расчетов планировщика мы добились улучшения плановых показателей работы пилотного полигона: увеличение маршрутной скорости поездов на 3% и сокращение простоя транзитного вагона без переработки на технических станциях примерно на 10% по отношению к текущему уровню.

Экономический эффект от реализации комплексного планирования эксплуатационной работы полиго-

на в ИСУЖТ рассчитывается на основе двух подходов (согласно разработанного ТЭО ИСУЖТ):

- за счет улучшения эксплуатационных показателей;
- за счет оптимизации персонала в структурных подразделениях при внедрении проекта ИСУЖТ (ЦД, ЦТ, ЦУП, ЦТ, ЦФТО, Д, ДДС, ДС и т.д.).



Рисунок 5. Результаты реализации комплексных планов ИСУЖТ, экономический эффект (по ТЭО ИСУЖТ)

Повышение надежности доставки грузовых отправок в нормативный срок

Эффект по данному фактору формируется двумя ключевыми показателями деятельности компании: размер штрафов и пеней, уплачиваемых за несвоевременную доставку грузов, и доля грузовых отправок, доставленных в срок.

Общая прогнозируемая экономия по данному фактору с 2019 по 2025 г. составит 3,6 млрд.руб.

Важным фактором обеспечения прироста доходов компании является *увеличение спроса на перевозки за счет роста удовлетворенности клиентов*. Внедрение Единой интеллектуальной системы управления и автоматизации производственных процессов позволит повысить уровень обслуживания за счет устранения

«узких мест»: позволит снизить фактор неопределенности за счет более четкого планирования и минимизировать риск задержки груза; даст возможность максимально оперативно вносить изменения в график и за счет этого сокращать сроки доставки; улучшит информационное обеспечение; снизит влияние человеческого фактора; повысит безопасность движения.

Прогнозируемый прирост прибыли по этому фактору с 2019 по 2025 г. составит 3,9 млрд.руб.

В соответствии с функциями подсистемы ИСУЖТ определены должности в Центральной дирекции управления движением, Дирекции тяги, Центре фирменного транспортного обслуживания и их структур-

ных подразделениях, которые могут быть оптимизированы в результате внедрения проекта ИСУЖТ.

Снижение дублирующих функций персонала, а также автоматизация части работ позволит сэкономить до 1,6 млрд.руб.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

- **Кисиль Константин Юрьевич**
Москва, АО «НИИАС»,
начальник отдела интеграционных решений ИСУЖТ
kisil@vniias.ru



УДК 519.852.35, 519.852.67, 519.854.2, 519.178, 519.168

Шабунин А.Б., Такмазьян А.К., Есаков А.В., Зайцев С.В.

Алгоритм сменно-суточного планирования формирования и пропуска поездов методом оптимального сетевого потока

Сменно-суточное планирование является частью технологического процесса железной дороги, в рамках которого планируется эксплуатационная работа на сутки вперед. От качественного решения задачи сменно-суточного планирования зависит равномерность и бесперебойность поездопотока, эффективность использования тяговых ресурсов, количество доставляемого груза, вывоз порожних вагонов и своевременная подача их под погрузку, своевременный подвод поездов к припортовым станциям, и многое другое.

Основной целью сменно-суточного планирования являются обеспечение доставки всего имеющегося груза на станции назначения вовремя, с минимальными затратами.

Расчет сменно-суточного плана крайне непростая задача в силу её размерности. Например, только на Восточном полигоне около 400 составообразующих станций, 70 из которых являются крупными техническими станциями. Одновременно на полигоне находится порядка 1800 – 1900 поездов и около 2300 локомотивов. На текущий момент сменно-суточное планирование по всей сети РЖД выполняется вручную. Чтобы справиться с огромным объемом данных железнодорожная сеть была разделена на районы

управления. Для каждого района управления сменно-суточный план строится отдельно на основе справок о ситуации в соседних районах и запланированных окнах, а также личного опыта и знаний ответственного за планирование сотрудника. При этом по техническим станциям, как правило, планируется только отправление поездов. Такой сменно-суточный план позволяет осуществлять работу железной дороги, но является приблизительным, и его невозможно назвать оптимальным.

Решением данной проблемы является автоматизация сменно-суточного планирования. Программные средства способны обрабатывать количество данных недоступное для человека, и при этом использовать алгоритмы глобальной оптимизации, чтобы искать наилучшее решение не только на данный момент времени на узком участке дороги, а на весь суточный горизонт и с учетом ситуации по всей сети.

В рамках проекта ИСУЖТ сменно-суточное планирование выполняется модулем ССП. Данный модуль вписан в технологический процесс ИСУЖТ, а рассчитанные им планы используются модулями Управления тяговыми ресурсами (УТР) и Диспетчерского управления движением поездов (ДУДП).

Для достижения целей сменно-суточного планирования перед модулем ССП были поставлены следующие задачи:

- Рассчитать план составообразования в зависимости от имеющихся вагонов на станции, подхода поездов в расформирование и плана погрузки;
- Рассчитать плановые размеры движения поездов, обеспечивающие равномерное и бесперебойное продвижение поездов по полигону;
- Эффективно использовать пропускную способность сети и имеющейся инфраструктуры.
- В качестве решения поставленных задач был выбран метод оптимизации потока на графах. Выбор был сделан в пользу потокового алгоритма по следующим причинам:
- Задача обладает внутренней потоковой структурой – ищется именно поток ресурса (вагонов) через определенную ресурсную сеть – нитки актуального графика с заданной инфраструктурой дороги;
- Для потоковых задач существуют эффективные алгоритмы решения, с низкой алгоритмической сложностью, позволяющие проводить вычисления для больших объемов, данных за время, пригодное для систем поддержки принятия решений пользователем на РЖД;
- Потоковый метод является методом глобальной оптимизации, и в связи с этим не имеет недостатка, присущего часто используемым, в целях ускорения расчета, жадным алгоритмам, приводящим к неравномерному распределению ресурса на всем горизонте планирования, и в итоге, к некачественному плану, непригодному на следующих итерациях планирования;
- Потоковый метод, в сравнении с методами математического (динамического, линейного) программирования, для задач, имеющих хорошее графовое представление (как данная задача, что будет показано ниже), может решаться эффективными алгоритмами с гораздо более низкой алгоритмической сложностью, которые сходятся за полиномиальное время с низким показателем степени. Например, в задаче подвязки тяговых ресурсов [3, 4] сложность потокового алгоритма Гольдберга [5] равна $O(N^4)$, где N – размерность задачи, выраженная в единицах ресурса (тяговых единицах).
- Решение, найденное с помощью потокового алгоритма, будет лучшим с точки зрения некоторых заданных критериев.

В качестве критериев оптимизации были выбраны маршрутная скорость, (максимизировать) и средний простой вагона на станции (минимизировать). При таком подходе поезда продвигаются как можно дальше по полигону и как можно меньше стоят на станци-

ях, что сочетается с целями сменно-суточного планирования.

Для решения задачи поиска оптимального потока на сети используется алгоритм проталкивания предпотока Гольдберга [5]. Метод применяется к специально сконструированному графу, являющемуся разверткой дорожной транспортной сети на ось времени.

Работа алгоритма состоит из двух стадий:

- ◆ Инициализация;
- ◆ Основной цикл.

На стадии инициализации:

1. Задаётся высота источника, равная количеству вершин в транспортной сети;
2. Из источника выталкивается поток, и наполняются вершины графа.

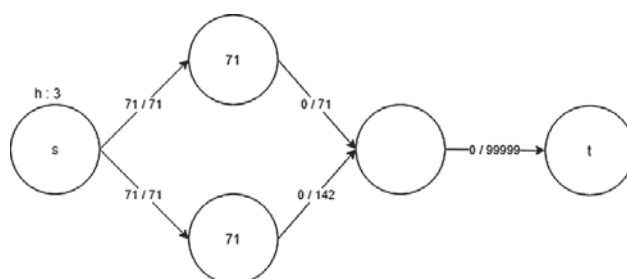


Рис.1. Состояние транспортной сети после инициализации

Основной цикл состоит из выполнения операций проталкивания и подъёма, пока избыточными вершинами в сети не окажется только источник или сток.

Перед тем, как применить алгоритм проталкивания предпотока для решения поставленной задачи основные понятия предметной области были сформулированы в терминах алгоритма.

В качестве первого пробного объекта автоматизации была выбрана Забайкальская дорога Восточного полигона (далее ЗАБ). Эта дорога преимущественно транзитная, и там очень мало местной работы (погрузки/выгрузки), что существенно облегчает поставленную задачу, а значит и отладку алгоритма.

В первую очередь были выделены так называемые станции ССП и участки между ними. В перечень станций ССП попали крупные технические станции ЗАБ, по которым должен считаться сменно-суточный план, а также промежуточные станции с большим количеством длинных путей, где могут простаивать брошенные поезда.

В классическом потоковом алгоритме нет понятия времени. Задача же ССП решается во времени и пространстве. Для того, чтобы применить алгоритм, в качестве вершин потоковой сети были представлены состояния станций ССП раз в определённый интервал времени. Таким образом, например, линейный участок железнодорожной сети разворачивается в матрицу, высота которой равна количеству станций, а ширина –

количеству временных интервалов. В данном представлении одной станции ССП соответствует один ряд вершин.



Рис.2. Участок ЗАБ из ГИС РЖД

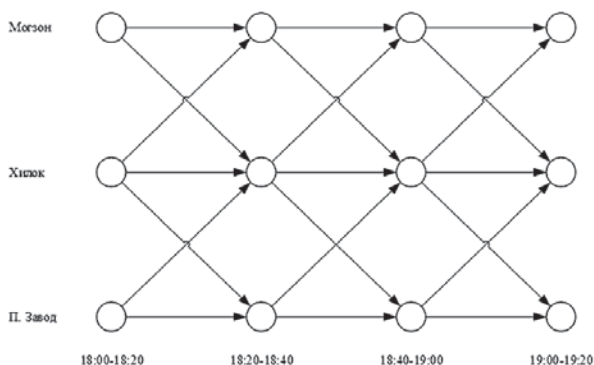


Рис.3. Участок ЗАБ в представлении описываемой модели

Рёбра транспортной сети были разделены на две категории:

- ◆ Горизонтальные;
- ◆ Диагональные.

Горизонтальные рёбра соединяют вершины в одном ряду. Проталкивание потока по ним соответствует стоянке поезда или вагона на станции. В качестве величины ёмкости горизонтальных рёбер каждого ряда вершин использовалась вместимость парков соответствующей ряду вершин станции.

Диагональные рёбра соединяют вершины разных рядов. Проталкивание потока по этим рёбрам соответствует движению поезда между станциями. Среднее время хода поезда по поездоучастку между станциями ССП определяет наклон диагонального ребра между ними. Емкость диагональных ребер измеряется в нитках.

В рамках описываемой модели единицей потока является вагон. Количество вагонов в рамках одного расчёт остаётся неизменным, а количество поездов может меняться за счёт расформирования имеющихся и формирования новых поездов.

Вагонопоток, в отличие от потока классического алгоритма, не однороден, а разделяется на несколько потоков, в силу того, что у каждого вагона своя станция назначения. Это означает, что для каждого вагона определён набор вершин, из которого его можно вытолкнуть в сток.

Движение вагонов по диагональным рёбрам возможно только в составе поездов. При этом на формируемые поезда накладываются дополнительные условия, например, по длине и весу.

Каждый поезд имеет свой маршрут и свою станцию назначения (которая может отличаться от станций назначения входящих в него вагонов). Поезд может быть расформирован только на станции назначения. Это означает, что вагон не может быть отцеплен от поезда на любой вершине, а должен следовать с ним до конца его маршрута.

Расформированные на определённой вершине поезда, вместе с вагонами, уже находящимися на этой вершине, составляют множество вагонов, из которых можно формировать новые поезда. Формирование и расформирование поездов занимает определённое нормативное время, ранее которого вагоны запрещено проталкивать по диагональным рёбрам, даже если их количество достаточно для целого поезда.

Включение вагонов в состав поезда производится по Плану формирования, который передаётся в ИСУЖТ из АСОВ ПФ. План формирования диктует условия, по которым вагон, обладающий определёнными характеристиками, можно включить в поезд определённого назначения. Маршрут движения поезда также определяется Планом формирования.

Расположение вагонов на вершинах ресурсной сети в процессе инициализации происходит в зависимости от начального состояния вагона. Характеристиками состояния являются время, наступления начального состояния и станция на которой вагон располагается (или прибудет в ближайшее время). Время и станция являются координатами вершины графа, на которую вагон будет вытолкнут из источника.

Довольно большое количество налагаемых предметной областью ограничений привело к необходимости модифицировать классический алгоритм таким образом, чтобы его результаты были адекватны поставленной задаче. При этом выполнение основных операций алгоритма (проталкивания и подъёма) не были нарушены.

Первичная отладка алгоритма выполнялась на тестовых сценариях. Тестовые сценарии позволяют моделировать небольшие синтетические задачи для алгоритма и проверять, как он с ними справляется. При этом результаты выполнения тестовых сценариев имеют небольшой объём и подходят для анализа «вручную».

В описании тестовых сценарием будут использоваться две единицы изменения потока: поезда и вагоны. Измерение потока в поездах условно, и используется для наглядности. В модели алгоритма поток измеряется в вагонах.

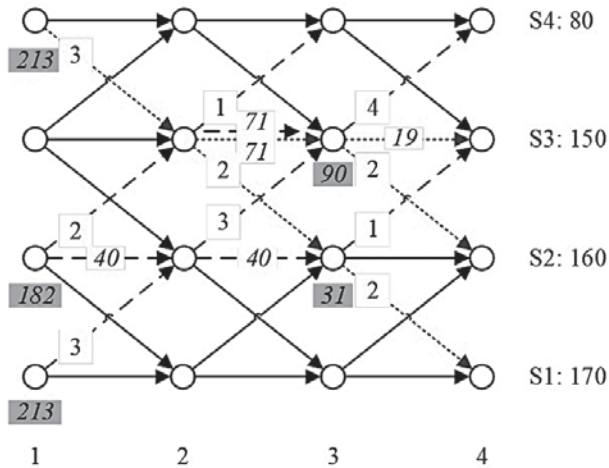


Рис.4. Схема тестового сценария 1

Тестовый сценарий 1 проверяет работу алгоритма с двумя противонаправленными потоками.

На схеме тестового сценария (рис.4) эти потоки обозначены пунктирными линиями разной частоты. В правой части рисунка обозначены условные станции (S1, S2 и т.д.) и указа их ёмкость. Один поток должен двигаться от станции S1 к S4. Другой – от S4 к S1. В нижней части рисунка условно обозначены временные интервалы (1, 2 и т.д.).

На каждом ребре, по которому прошёл поток, числом обозначена величина потока. На диагональных рёбрах в поездах. На горизонтальных рёбрах – в вагонных. Числами на сером фоне обозначена величина потоков в начальном положении после инициализации.

Результат выполнения тестового сценария 1 показал:

1. Алгоритм умеет различать потоки. На схеме тестового сценария 1 (рис.4) показано, как по одному горизонтальному ребру в вершину [3:S3] вытолкнуто сразу два разных потока. Однако, дальше они не перемещались, а были направлены в сторону своих станций назначения;
2. Алгоритм не игнорирует избирательные рёбра и умеет формировать поезда из вагонов. В вершине [1:S2] после формирования поездов осталось 40 вагонов. Они были вытолкнуты по горизонтальным рёбрам в вершину [3:S2], т.к. этого количества не достаточно для формирования поезда, а вне поездов вагоны запрещено проталкивать по диагональным рёбрам.

Тестовый сценарий 2 проверяет возможности алгоритма отменять принятые решения и обходить места с недостаточной пропускной способностью.

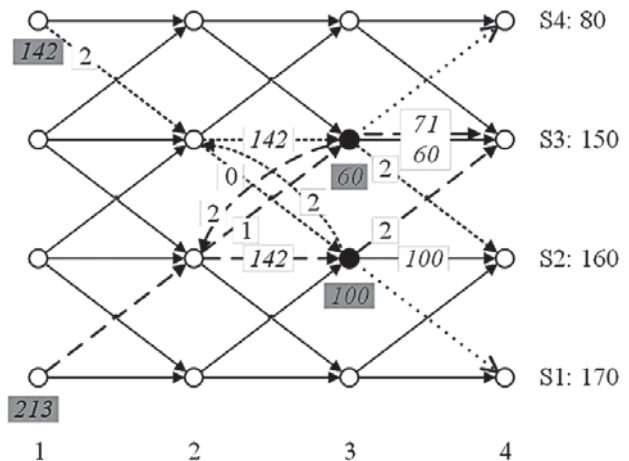


Рис.5. Схема тестового сценария 2

На схеме тестового сценария 2 (рис.5) чёрным цветом обозначены вершины, в которых ожидается обратное проталкивание потока, а серыми точками обозначены диагональные рёбра с нулевой пропускной способностью. Также в данный тестовый сценарий был добавлен третий блокирующий поток на вершинах [3:S2] и [3:S3], единственным назначением которого является заполнение пропускной способности горизонтальных рёбер, начинающихся после этих вершин. Дуговые рёбра обозначают проталкивание потока в обратном направлении. Число на дуговом ребре обозначает величину возвращённого потока (в поездах).

Результат выполнения тестового сценария 2 показал, что алгоритм действительно обходит «узкие» места сети, проталкивая поток в обратную сторону и находя для него новый маршрут.

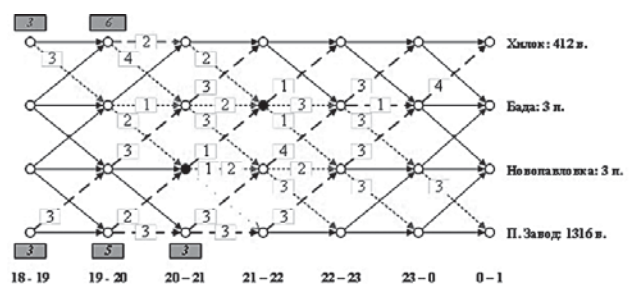


Рис.6. Схема тестового сценария 3

На схеме тестового сценария 2 (рис.5) в вершину [3:S3] поступает поток по диагональному ребру в размере 3 поездов. Пропускная способность диагонального ребра, исходящие из вершины [3:S3] в нужном направлении равна 0, а горизонтальное ребро, исходящие из этой вершины заблокировано другим потоком. В таком случае, 1 из 3 поездов проталкивается по горизонтальному ребру, а оставшиеся 2 поезда выталкиваются обратно в вершину [2:S2], после чего алгоритм для них находит обход через вершину [3:S2].

Тестовый сценарий 3 проверяет, как алгоритм справиться с транзитным потоком, смоделированным на

основе реальных данных. На схеме тестового сценария 2 (рис.6) обозначен небольшой участок Забайкальской дороги от станции Петровский завод до станции Хилок.

В качестве начального положения потока после инициализации было взято количество поездов, которое прибывает на станцию Петровский завод в чётном направлении и на станцию Хилок в нечётном направлении в период с 18 до 21 часа. В качестве входных данных выбирались только участковые и сквозные поезда. В качестве величины пропускной способности диагональных рёбер использовалось количество ниток графика на указанном участке в чётном и нечётном направлениях.

Для проверки результатов расчёта алгоритма совместно с экспертами (технологами) было составлено эталонное решение. В рамках эталонного решения был установлен горизонт планирования, в пределах которого планировщик ложен протолкнуть все поезда входного потока до противоположенных станций моделируемого участка.

В результате выполнения сценария 3 алгоритм смог проложить путь для каждого поезда до его станции назначения на установленном горизонте планирования. При этом пропускные способности диагональных рёбер (нити) использовались не хуже, чем в заранее составленном экспертами решении.

Дальнейшее тестирование алгоритма проводилось на модели Забайкальской дороги. В модель вошли 24 станции главного хода ЗАБ, от Петровского завода до Архары. В качестве начального состояния дороги на момент начала планирования было взято 573 транзитных поезда (только сквозные и участковые без учёта ускоренных). Учитывались как находящиеся в пределах дороги поезда, так и прогноз подхода поездов по стыкам. Для моделирования пропускных способностей использовался график движения поездов из ГИД.

В результате планирования из 573 поездов 510 доехало до своей станции назначения или до конца горизонта планирования, 63 – было брошено. При этом маршрутная скорость достигла 703,4 км/сут, и средний простой транзитного вагона – 1,46 часа.

Несмотря на то, что данная модель многое не учитывает, она показывает, что алгоритм способен справиться с транзитным поездопотоком, сопоставимым с реальным.

Литература:

1. Матюхин В.Г., Шабунин А.Б., Немцов Э.Ф. «Информационная поддержка оперативного управления тяговыми ресурсами на Восточном полигоне». Локомотив. 2017. № 1(721). с. 8-9.

2. Матюхин В.Г., Шабунин А.Б., Кузнецов Н.А., Жилкова Л.Ю., Такмазян А.К. «Графовая динамическая модель задачи подбора тяговых ресурсов для грузовых железнодорожных перевозок». Труды 6-й Научно-технической конференции ИСУЖТ-2017. с. 17-21.
3. V.G. Matyukhin, A.B. Shabunin, N.A. Kuznetsov, A.K. Takmazian. «Rail transport control by combinatorial optimization approach», Proceedings of the 11th IEEE International conference «Application of information and communication technologies», pp. 419-422, September 2017.
4. 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.
5. 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.
6. Goldberg A.V., Tarjan R.E. «Solving minimum cost flow problems by successive approximations» Proc. 19th ACM STOC. May 1987.
7. 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.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Шабунин Александр Борисович**
Москва, АО «НИИАС»,
руководитель НТК Проектирования и разработки информационных систем
a.shabunin@vniias.ru
- **Такмазян Андрей Куркенович**
Москва, АО «НИИАС», начальник отдела,
кандидат физико-математических наук
takmazian@gmail.com
- **Есаков Александр Владимирович**
Москва, АО «НИИАС»,
главный специалист
a.esakov@vniias.ru
- **Зайцев Семен Валерьевич**
Москва, АО «НИИАС»,
главный специалист
s.zaytsev@vniias.ru



УДК 656.22

Фрольцов В.Д., Войтенко П.Е., Потрахов С.Д.

Управление тяговыми ресурсами на Восточном и Юго-Западном полигоне ОАО «РЖД» в рамках ИСУЖТ

2019 год в Дирекции Восточного полигона стал переломным в части сквозной автоматизации перевозочного процесса, что должно стать первым шагом к «Цифровой железной дороге». Без использования новых интеллектуальных систем, созданных на цифровой основе, сегодня просто невозможно обеспечить растущие требования по пропуску грузопотока к портам Дальнего Востока, а также на Юго-Западном направлении – к портам Азово-Черноморского бассейна!

За последние 6 лет., с 2013 г. по 2019 г., идет стремительный рост всех эксплуатационных показателей на Восточном направлении сети ОАО «РЖД»: увеличение погрузки на 7% (с 634,8 тыс. тонн до 671,1 тыс. тонн); грузооборота на 14%; участковой скорости на 8% (с 41,2 км/ч до 44,9 км/ч); производительности локомотива на 9%. В 2018 – 2019 г.г. поставлены суточные рекорды по передаче поездов по стыковым станциям Восточного полигона (Мариинск – 70 поездов, Юрты – 80, Петровский завод – 102, Архара – 102 и т.д.).

Несомненно, что на рост эксплуатационных показателей оказывает и реализация новых интеллектуальных-управляющих систем в рамках ИСУЖТ. Внедряемые модули уже сегодня решают задачи цифровизации эксплуатационной работы Восточного полигона в части:

- Объемного распределения парка локомотивов в границах дорог и полигона в целом;
- Определения оптимального времени отправления и прибытия поездов, как транзитных, так и своего формирования по всем техническим станциям;
- Распределения локомотивного парка по участкам обращения и станциям планирования, при необходимости их передислокации;
- Оптимального направления локомотивов к местам прохождения плановых видов ремонта и обслуживания, согласно разработанных планов;
- Отсутствия влияния человеческого фактора на результаты расчетов и объективность формируемых системой планов организации эксплуатационной работы.

Для Юго-Западного полигона в части:

- Автоматизированного распределение парка локомотивов на участках Юго-Западного полигона;
- Логическое распределение парка локомотивов по всем эксплуатационным локомотивным депо Полигона;
- Формирования ежесуточных приказов по нормативам содержания эксплуатируемого парка локомотивов по эксплуатационным локомотивным депо, согласно их приписки;



Рис.1. Реализованные задачи ИСУЖТ

ПОФАМИЛЬНЫЙ ПЛАН, с указанием Времени явки бригады и Направления следования

№	Вид бригады	№	Вид бригады	№	Вид бригады
1	ВЫХОДКА	32	ВЫХОДКА	61	ВЫХОДКА
2	ПРИХОДКА	33	ПРИХОДКА	62	ПРИХОДКА
3	УХОДКА	34	УХОДКА	63	УХОДКА
4	ПОДЪЕЗД	35	ПОДЪЕЗД	64	ПОДЪЕЗД
5	ПОДЪЕЗД	36	ПОДЪЕЗД	65	ПОДЪЕЗД
6	ПОДЪЕЗД	37	ПОДЪЕЗД	66	ПОДЪЕЗД
7	ПОДЪЕЗД	38	ПОДЪЕЗД	67	ПОДЪЕЗД
8	ПОДЪЕЗД	39	ПОДЪЕЗД	68	ПОДЪЕЗД
9	ПОДЪЕЗД	40	ПОДЪЕЗД	69	ПОДЪЕЗД
10	ПОДЪЕЗД	41	ПОДЪЕЗД	70	ПОДЪЕЗД
11	ПОДЪЕЗД	42	ПОДЪЕЗД	71	ПОДЪЕЗД
12	ПОДЪЕЗД	43	ПОДЪЕЗД	72	ПОДЪЕЗД
13	ПОДЪЕЗД	44	ПОДЪЕЗД	73	ПОДЪЕЗД
14	ПОДЪЕЗД	45	ПОДЪЕЗД	74	ПОДЪЕЗД
15	ПОДЪЕЗД	46	ПОДЪЕЗД	75	ПОДЪЕЗД
16	ПОДЪЕЗД	47	ПОДЪЕЗД	76	ПОДЪЕЗД
17	ПОДЪЕЗД	48	ПОДЪЕЗД	77	ПОДЪЕЗД
18	ПОДЪЕЗД	49	ПОДЪЕЗД	78	ПОДЪЕЗД
19	ПОДЪЕЗД	50	ПОДЪЕЗД	79	ПОДЪЕЗД
20	ПОДЪЕЗД	51	ПОДЪЕЗД	80	ПОДЪЕЗД
21	ПОДЪЕЗД	52	ПОДЪЕЗД	81	ПОДЪЕЗД
22	ПОДЪЕЗД	53	ПОДЪЕЗД	82	ПОДЪЕЗД
23	ПОДЪЕЗД	54	ПОДЪЕЗД	83	ПОДЪЕЗД
24	ПОДЪЕЗД	55	ПОДЪЕЗД	84	ПОДЪЕЗД
25	ПОДЪЕЗД	56	ПОДЪЕЗД	85	ПОДЪЕЗД
26	ПОДЪЕЗД	57	ПОДЪЕЗД	86	ПОДЪЕЗД
27	ПОДЪЕЗД	58	ПОДЪЕЗД	87	ПОДЪЕЗД
28	ПОДЪЕЗД	59	ПОДЪЕЗД	88	ПОДЪЕЗД
29	ПОДЪЕЗД	60	ПОДЪЕЗД	89	ПОДЪЕЗД
30	ПОДЪЕЗД	61	ПОДЪЕЗД	90	ПОДЪЕЗД
31	ПОДЪЕЗД	62	ПОДЪЕЗД	91	ПОДЪЕЗД
32	ПОДЪЕЗД	63	ПОДЪЕЗД	92	ПОДЪЕЗД
33	ПОДЪЕЗД	64	ПОДЪЕЗД	93	ПОДЪЕЗД
34	ПОДЪЕЗД	65	ПОДЪЕЗД	94	ПОДЪЕЗД
35	ПОДЪЕЗД	66	ПОДЪЕЗД	95	ПОДЪЕЗД
36	ПОДЪЕЗД	67	ПОДЪЕЗД	96	ПОДЪЕЗД
37	ПОДЪЕЗД	68	ПОДЪЕЗД	97	ПОДЪЕЗД
38	ПОДЪЕЗД	69	ПОДЪЕЗД	98	ПОДЪЕЗД
39	ПОДЪЕЗД	70	ПОДЪЕЗД	99	ПОДЪЕЗД
40	ПОДЪЕЗД	71	ПОДЪЕЗД	100	ПОДЪЕЗД

В основу подбора каждой локомотивной бригады в сменно-суточный плане заложены:
 - трудовое законодательство РФ;
 - нормативные документы ОАО «РЖД», определяющие участки обслуживания локомотивных бригад (УОЛБ);
 - нормы продолжительности работы на УОЛБ;
 - проценты использования локомотивных бригад разных депо.

ФАКТ ВЫПОЛНЕНИЯ ПЛАНА, и его анализ

№	Вид бригады	№	Вид бригады	№	Вид бригады
1	ВЫХОДКА	32	ВЫХОДКА	61	ВЫХОДКА
2	ПРИХОДКА	33	ПРИХОДКА	62	ПРИХОДКА
3	УХОДКА	34	УХОДКА	63	УХОДКА
4	ПОДЪЕЗД	35	ПОДЪЕЗД	64	ПОДЪЕЗД
5	ПОДЪЕЗД	36	ПОДЪЕЗД	65	ПОДЪЕЗД
6	ПОДЪЕЗД	37	ПОДЪЕЗД	66	ПОДЪЕЗД
7	ПОДЪЕЗД	38	ПОДЪЕЗД	67	ПОДЪЕЗД
8	ПОДЪЕЗД	39	ПОДЪЕЗД	68	ПОДЪЕЗД
9	ПОДЪЕЗД	40	ПОДЪЕЗД	69	ПОДЪЕЗД
10	ПОДЪЕЗД	41	ПОДЪЕЗД	70	ПОДЪЕЗД
11	ПОДЪЕЗД	42	ПОДЪЕЗД	71	ПОДЪЕЗД
12	ПОДЪЕЗД	43	ПОДЪЕЗД	72	ПОДЪЕЗД
13	ПОДЪЕЗД	44	ПОДЪЕЗД	73	ПОДЪЕЗД
14	ПОДЪЕЗД	45	ПОДЪЕЗД	74	ПОДЪЕЗД
15	ПОДЪЕЗД	46	ПОДЪЕЗД	75	ПОДЪЕЗД
16	ПОДЪЕЗД	47	ПОДЪЕЗД	76	ПОДЪЕЗД
17	ПОДЪЕЗД	48	ПОДЪЕЗД	77	ПОДЪЕЗД
18	ПОДЪЕЗД	49	ПОДЪЕЗД	78	ПОДЪЕЗД
19	ПОДЪЕЗД	50	ПОДЪЕЗД	79	ПОДЪЕЗД
20	ПОДЪЕЗД	51	ПОДЪЕЗД	80	ПОДЪЕЗД
21	ПОДЪЕЗД	52	ПОДЪЕЗД	81	ПОДЪЕЗД
22	ПОДЪЕЗД	53	ПОДЪЕЗД	82	ПОДЪЕЗД
23	ПОДЪЕЗД	54	ПОДЪЕЗД	83	ПОДЪЕЗД
24	ПОДЪЕЗД	55	ПОДЪЕЗД	84	ПОДЪЕЗД
25	ПОДЪЕЗД	56	ПОДЪЕЗД	85	ПОДЪЕЗД
26	ПОДЪЕЗД	57	ПОДЪЕЗД	86	ПОДЪЕЗД
27	ПОДЪЕЗД	58	ПОДЪЕЗД	87	ПОДЪЕЗД
28	ПОДЪЕЗД	59	ПОДЪЕЗД	88	ПОДЪЕЗД
29	ПОДЪЕЗД	60	ПОДЪЕЗД	89	ПОДЪЕЗД
30	ПОДЪЕЗД	61	ПОДЪЕЗД	90	ПОДЪЕЗД
31	ПОДЪЕЗД	62	ПОДЪЕЗД	91	ПОДЪЕЗД
32	ПОДЪЕЗД	63	ПОДЪЕЗД	92	ПОДЪЕЗД
33	ПОДЪЕЗД	64	ПОДЪЕЗД	93	ПОДЪЕЗД
34	ПОДЪЕЗД	65	ПОДЪЕЗД	94	ПОДЪЕЗД
35	ПОДЪЕЗД	66	ПОДЪЕЗД	95	ПОДЪЕЗД
36	ПОДЪЕЗД	67	ПОДЪЕЗД	96	ПОДЪЕЗД
37	ПОДЪЕЗД	68	ПОДЪЕЗД	97	ПОДЪЕЗД
38	ПОДЪЕЗД	69	ПОДЪЕЗД	98	ПОДЪЕЗД
39	ПОДЪЕЗД	70	ПОДЪЕЗД	99	ПОДЪЕЗД
40	ПОДЪЕЗД	71	ПОДЪЕЗД	100	ПОДЪЕЗД

Рис.2 Сменно-суточный наряд-заказ

- Создания единого технологического процесса по управлению перевозочным процессом и эксплуатационной работой на полигоне.

Начиная с 2015г. созданные модули ИСУЖТ ежедневно активно используются диспетчерским аппаратом в Диспетчерских центрах управляющих работой на Восточном Полигоне, для оперативного и тактического планирования тяговых ресурсов. Цель разработанных модулей ИСУЖТ – комплексное планирование тяговых ресурсов на всем Полигоне, снижение влияния человеческого фактора на процесс планирования при организации перевозочного процесса, повышении прозрачности планирования.

Основные модули, задействованные в тактическом планировании тяговых ресурсов, это: «Оперативное нормирование парка локомотивов»; «Оперативное регулирование» и «Сменно-суточное планирование тяговых ресурсов».

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

Модуль «Оперативное регулирование» разработан для регламентированного управления парком локомотивов в границах выделенных участков железных дорог Восточного полигона, без нарушения технологии их работы. Модуль автоматически производит расчет по регулированию локомотивов по стыковым стан-

циям железных дорог внутри участков обращения. Диспетчерскому аппарату Дирекций управления движением Восточного полигона остается только согласовать расчет модуля ИСУЖТ, по результатам которого формируются оперативные приказы, автоматически рассылаемые на исполнение всем причастным.

Данный модуль позволяет правильно организовывать взаимодействие оперативных работников станций, локомотивных эксплуатационных и сервисных ремонтных депо, диспетчерского аппарата региональных Дирекций управления движением и других подразделений ОАО "РЖД", участвующих в перевозочном процессе и обеспечивающих его тяговыми ресурсами. Основная задача модуля «Сменно-суточное планирование тяговых ресурсов» – планирование тяговых ресурсов (локомотивов и локомотивных бригад грузового движения) на суточном горизонте по полигону в целом, с учетом всех особенностей технологии работы каждого участка. В единой онтологии ИСУЖТ сконцентрирована вся необходимая исходная информация из всех влияющих на расчеты систем-поставщиков. Сменно-суточный план ИСУЖТ – это создание обязательного к исполнению задания, на суточном горизонте времени (24 часа плановых суток), для всех оперативных работников, участвующих в организации перевозочного процесса. При этом ИСУЖТ доводит созданный оперативный план «на линию» в виде автоматически рассчитанных, сформированных, готовых приказов, с пофамильным списком локомотивных бригад по пунктам их заступления на работу. Данный модуль позволяет сделать прозрачным процесс планирования эксплуатационной работы, что, как следствие, улучшает её качество, исключает (точнее: минимизирует) «ручное управление». Модуль способен за несколько минут просчитать работу всех технических станций Восточного полигона в части размеров отправления и прибытия поездов, рассчитать по трехчасовым периодам плановые цифры отправления поездов своего формирования и поездов, которые придут на стан-

1. Топологические различия:

- Восточный полигон представляет собой две параллельные линии (Северо-широтный ход (БАМ) и Транссибирская магистраль), с чётким определенным разделением по обслуживанию его тяговыми ресурсами;
- Юго-Западный полигон представляет собой «веер» пересекающихся направлений со смешанным тяговым обслуживанием параллельных ходов. Выделяются в основном три направления:
 - грузовое направление на Азово-Черноморский бассейн с Западной и Восточной части страны;
 - направление Центр-Запад;
 - и пассажирское направление Север-Юг.

Все направления движения поездопотоков имеют пересечения между собой. При этом расстояния между соседними участковыми станциями, как правило, не превышают 200 километров, что позволяет в ряде случаев пропускать грузовые поезда по параллельному ходу, не увеличивая при этом общий тарифный километраж доставки груза.

На Восточном же полигоне такой возможности нет «по умолчанию», что существенно упростило расчет возможных путей (конкурентных маршрутов) доставки груза по назначению.

2. Технологические особенности:

- Восточный полигон имеет два вида тяги: электровозы переменного хода (Транссибирская магистраль) и тепловозы (БАМ и рокадные хода). Участки обслуживания локомотивов (УОЛ) определены для Трансиба как, Мариинск – Карымская, Карымская – Находка, Междуреченск – Таксимо и тепловозный УОЛ Таксимо – Ванино. Соответственно, выделены прямые и непересекающиеся УОЛы, которые управляются отдельными Региональными локомотивными диспетчерами. На Восточном полигоне применяется Регулирование локомотивным парком по стыковым станциям железных дорог, входящих в Полигон (4 дороги – Красноярская, Восточно-Сибирская, Забайкальская, Дальневосточная);
- Юго-Западный полигон имеет три вида тяги: электровозы переменного и постоянного тока, тепловозы. Полигон имеет кардинальную особенность в части управления тяговыми ресурсами. На Юго-западном полигоне отсутствуют явно выделенные «локомотивные плечи» – УОЛы, на Полигоне применяется принципы управления региональными диспетчерами (ДРЛ) локомотивами разного вида тяги, по выделенным грузовым направлениям от станций зарождения грузопотока до станций погашения, где требуется координация работы различных видов тяги в единый технологический процесс.

В отличие от Восточного полигона на Юго-Западном есть несколько участков смешанного использования локомотивов разных видов тяги: электровозы и тепловозы (Волжский – им.М.Горького; Краснодар – Раз. 9 км – Грушевая и т.п.). Это требует принципиальной доработки алгоритмов подвязки локомотивов под поезд.

При этом на Юго-Западном полигоне на выделенных направлениях имеется различные (параллельные) маршруты продвижения поездопотоков по основным направлениям. Регулирование локомотивным парком на Юго-Западном полигоне происходит с учетом возможности «езды по кругу» в рамках УОЛа в пределах нескольких дорог, где это топологически возможно. И если на Восточном полигоне локомотивы условно едут с грузовым потоком «слева-направо» (с запада на восток от Мариинска до Находки), а потом возвращаются преимущественно с порожняками обратно, то на Юго-Западном полигоне локомотив может полезно работать «по кругу» (например, Анисовка – Ртищево – Поворино – Лиски – Лихая – Батайск – Новороссийск – Тихорецкая – им.М.Горького – Анисовка), как в одну («по часовой стрелке»), так и в другую («против») сторону, заходя в депо соседних железных дорог на технический осмотр и плановый ремонт, по мере выработки оставшегося ресурса.

Одной из ярких отличительных особенностей Юго-Западного Полигона является возможность использования локомотивов ОАО «РЖД» одновременно со сторонними перевозчиками на участках смежных дорог и государств СНГ (Карталы-1 – Тобол Казахстан, Валуйки – Купянск Украина). Есть аналогичные случаи смешанного обслуживания ряда участков соседних железных дорог РЖД с других полигонов (участок Рыбное – Бекасово – Вязьма Московской ж.д., Юдино – Цильна Горьковской ж.д. и др.), где Юго-Западные локомотивы используются только под определенные, как правило ускоренные контейнерные поезда, а остальные поезда обслуживаются «чужим парком».

Не малое значение имеет факт, что на ряде участков Юго-Западного полигона начала применяться тяга поездов локомотивами и локомотивными бригадами принадлежащим, в т.ч. на правах аренды, крупным частным компаниям-операторам подвижного состава, что требует разделения локомотивов на «общеполлигонные» и «операторские».

Заключение:

Переход на автоматизированное планирование ИСУЖТ рассчитан на среднесуточную перспективу и для полноценного перехода потребуются изменение действующих технологий, которые не вписываются в «Цифровую железную дорогу». Но база, созданная в

ИСУЖТе, сегодня позволяет смело говорить, что шаг в новую эру управления перевозочным процессом сделан и назад дороги уже нет.

В перспективе разработанные модули ИСУЖТ, при тиражировании их 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 – начальник отдела планирования перевозок и обеспечения ресурсами НТК ПРИС
v.froltsov@vniias.ru
- **Войтенко Павел Евгеньевич**
Москва, АО «НИИАС»,
начальник отдела разработки технологических решений НТК ПРИС
p.voytenko@vniias.ru
- **Потрахов Сергей Дмитриевич**
Москва, АО «НИИАС»,
главный специалист отдела планирования перевозок и обеспечения ресурсами НТК ПРИС
s.potrachov@vniias.ru



УДК 656.21

Левин Д.Ю.

Диспетчерское управление вагонопотоками

Принятый ОАО «РЖД» курс на повышение эффективности перевозочного процесса диктует необходимость не ограничиваться только разработкой нормативно-технологических документов, необходимо добиваться их адаптации к реальной ситуации и неукоснительного выполнения. Прежде всего, это относится к плану формирования грузовых поездов. Необходимо оперативно реагировать на изменения расчетных нормативов и колебания размеров вагонопотоков, усиление или снижение технической мощности сооружений и устройств инфраструктуры и подвижного состава, затруднения в эксплуатационной работе.

Развитие оперативного управления вагонопотоками

Управление вагонопотоками более широкое понятие, чем выбор их направления, составление плана формирования поездов, его корректировка и взаимодействие с графиком движения поездов. Управление вагонопотоками должно включать две системы: долго-

срочную (нормативную) и оперативную. Долгосрочная система должна заблаговременно решать вопросы соответствия потребностей в перевозках и перевозочных возможностей железных дорог, разработки плана формирования поездов, направления и распределения вагонопотоков. Оперативная система в процессе эксплуатации железных дорог должна реагировать на изменения ситуации и реализовывать эффективный вариант организации вагонопотоков.

Основными рычагами воздействия являются приведение в соответствие объема перевозок и возможностей их своевременного осуществления и оперативная корректировка плана формирования поездов, обеспечивающая соответствие или приближение нормативно-технологических документов к реальной эксплуатационной ситуации. *Управление предполагает планирование не стихийно складывающихся обстоятельств, а создание и поддержание оптимальных условий эксплуатационной работы железных дорог и эффективной организации вагонопотоков.*

Уже в Инструктивных указаниях по организации вагонопотоков 1967 г. предусматривалась корректировка направления вагонопотоков «при значительных отклонениях фактических размеров движения от плановых, а также в связи с затруднениями в пропуске вагонопотоков по отдельным направлениям или станциям».

Корректировка плана формирования разрешалась:

- междудорожных назначений – Главному управлению движения МПС;
- внутридорожных назначений – начальнику службы движения дороги.

Для обоснования изменения порядка направления вагонопотоков или корректировки плана формирования рекомендовался существовавший порядок их составления.

Разрешение единовременной корректировки плана формирования при отсутствии строгого контроля за его выполнением ежедневно приводило к необоснованному значительному увеличению размеров движения поездов в конце отчетных суток из-за нарушений плана формирования.

Единовременная корректировка плана формирования сохранилась и в Инструктивных указаниях по организации вагонопотоков 1984 г. и также ежедневно на участках, прилегающих к междорожным стыковым пунктам, в конце отчетных суток фактические размеры движения поездов значительно превышали графиковые.

Дополнительно корректировку внутридорожного плана формирования разрешили начальникам отделений.

Для обоснования изменения организации вагонопотоков был рекомендован алгоритм:

1. сравнить действующий и предлагаемый планы, выявить станции и участки, на которых возникают изменения. По каждой станции подсчитать изменения размеров переработки и количества назначений, а по участкам – размеры движения;
2. предлагаемый вариант проверить по перерабатывающей способности и путевому развитию станций, а также пропускной способности участков;
3. измененный план формирования оценить по натуральным и технико-экономическим показателям;
4. показатели предлагаемого варианта сравнить с показателями действующего плана формирования и выбрать лучший вариант.

Корректировку плана формирования рекомендовалось выполнять на основе учета подхода вагонопотоков в поездах и разложения их по назначениям по форме ДО-17. Если учесть, что отчет об исполненных вагонопотоках по форме ДО-17 тогда составляли только ежемесячно по данным второй декады, то станет понятно, что такой анализ назвать действенным управлением, да еще оперативным – нельзя.

Практическое управление вагонопотоками сводилось к административно-командным методам. Все случаи неразрешенного изменения плана формирования и порядка следования вагонопотоков рассматривались как производственные упущения, и работники, виновные в указанных нарушениях, привлекались к ответственности. Эти и другие меры принимались МПС потому, что нарушения плана формирования вызывают дезорганизацию в работе сортировочных станций, замедляют продвижение вагонопотоков, увеличивают сроки доставки грузов получателям и себестоимость перевозок, а также сокращают погрузочные ресурсы.

Для оправдания «нарушителей» была сделана оговорка. «Оперативная корректировка плана формирования дальних назначений дает эффект через 5-10 дней. Поэтому частая, без действительной необходимости корректировка плана нецелесообразна, тем более, что она может вызвать затруднения в работе целого ряда других станций. Это относится и к изменению пути следования вагонопотоков». Очевидно, что с такими опасениями и отдаленным эффектом, нельзя говорить об оперативном управлении вагонопотоками.

Следующий шаг в развитии системы управления вагонопотоками сделан в Инструктивных указаниях по организации вагонопотоков 2007 г. Учет и анализ исполненных вагонопотоков предложено вести за сутки, декаду и месяц. Исходные данные для такого учета и анализа предоставляют Автоматизированная система оперативного управления перевозочным процессом (АСОУП) и автоматизированная система пономерного учета, контроля дислокации, анализа использования и регулирования вагонного парка на железных дорогах России (ДИСПАРК). Даже один из разделов в Инструктивных указаниях посвящен диспетчерскому руководству формированием и пропуском поездов. К сожалению, этот раздел содержит только лозунги и призывы.

Большие возможности для оперативного управления вагонопотоками предоставляет ДИСПАРК. Прежде всего, это относится к информации о фактической дислокации вагонов и подводе их к станциям формирования поездов. В системе ДИСПАРК предусмотрено взаимодействие с планом формирования грузовых поездов, планирование поездообразования и прикрепление поездов к «ниткам» графика движения, обеспечение «ниток» графика движения поездов локомотивами, локомотивными бригадами и нарядами военизированной охраны.

Разработчики считают, что с помощью системы ДИСПАРК могут решаться задачи: «оперативного формирования поездов повышенной транзитности по назначениям плана формирования вперёдлежащих технических станций; оперативного формирования

отдельных поездов по сортировочным системам впередилежащих двусторонних станций; оперативного формирования поездов по назначениям противоположной сортировочной системы на двусторонних станциях; оперативного назначения одногруппных поездов взамен групповых; формирование отдельных поездов (в том числе групповых) из вагонов с местным грузом или порожних под погрузку; групповой подборки вагонов по отдельным маневровым районам в поездах назначением на крупные грузовые станции с недостаточными развитыми сортировочными устройствами».

План формирования поездов разрабатывается на длительный период по среднесуточным вагонопотокам, усредненным и неизменным расчетным нормативам. Но на практике реальная эксплуатационная обстановка часто существенно отличается от нормативных условий: колеблются размеры струй вагонопотоков, объемы переработки на станциях; составы своевременно не обеспечиваются локомотивами; возникают замедление и перерывы в движении поездов на участках («окна», отказы) и т.д. В современных условиях работы железных дорог требуются обеспечение своевременной отмены неэффективных назначений, оперативное выявление и введение эффективных. Информационные технологии позволяют организовать оперативное управление вагонопотоками. Кроме ДИС-ПАРК для решения задач управления вагонопотоками необходимая информация содержится в АСОУП, АСУ СС, АСОВ и др.

Когда было сказано, что управление вагонопотоками более широкое понятие, имелось в виду оперативная повсеместная и постоянная адаптация плана формирования к реально складывающейся эксплуатационной обстановке, т.е. не ограничиваться ежегодной разработкой плана формирования, а поддерживать его эффективность диспетчерским управлением.

Неравномерность времени обслуживания и потребности в обслуживании характерны для всех областей деятельности человека. Не стал исключением и железнодорожный транспорт.

Недостаточный учет неравномерности движения поездов при проектировании и реконструкции станций и участков приводит к дефициту путей, при техническом нормировании – к занижению необходимых ресурсов, при разработке технологических процессов – к неоправданному занижению показателей, в оперативной работе – к не выполнению заданных показателей и т.д.

Почти половина времени нахождения вагонов на современных сортировочных станциях – это межоперационные простои, поезда простаивают по неприему станциями, вагоны – в ожидании выполнения технологических операций, сформированные составы – в ожидании поездных локомотивов, готовые поезда – в ожи-

дании отправления и т.д. Все эти непроизводительные издержки, неэффективное использование подвижного состава, пропускной и перерабатывающей способности станций пока не находят отражения ни в нормировании эксплуатационных показателей, ни в технологических процессах работы станций, ни в нормативно-технологических документах.

План формирования поездов, регламентирующий организацию вагонопотоков, составляют на длительный период – 1 год. В условиях неравномерности перевозочного процесса, колебаний размеров и направления вагонопотоков, времени обслуживания, неопределенности исходных нормативов в расчетах плана формирования используют среднесуточные величины. Причем неравномерность перевозочного процесса носит объективный характер. Например, в первой половине суток на сети железных дорог выгружается лишь 20% вагонов. Просто констатация и борьба с реально существующей неравномерностью ситуацию не изменит, но учет ее в принимаемых решениях по управлению перевозочным процессом может значительно повысить эффективность работы железнодорожного транспорта.

План формирования, полученный на конкретные значения среднесуточных размеров поездов и струй вагонопотоков, – это один из возможных вариантов. А так как исходные данные и расчетные нормативы колеблются в достаточно большом диапазоне, то каждые сутки и смену поездо- и вагонопотоки имеют другие размеры и эффективны другие варианты плана формирования поездов. Отсюда видно, что недостаточно только разработать план формирования поездов. Чтобы он соответствовал реальной ситуации на железных дорогах, необходимо своевременно его корректировать.

Задачи диспетчерского управления вагонопотоками

Каждый день реальная эксплуатационная обстановка существенно отличается от нормативных условий: колеблются размеры струй вагонопотоков, объемы переработки на станциях, возникают такие затруднения, как перерывы в движении поездов на участках («окна», отказы и т.д.), замедление движения поездов, обеспечение составов локомотивами и т.д. Все это определяет неоптимальность плана формирования поездов. В настоящее время в оперативных условиях на это никак не реагируется. Мало этого, неукоснительное соблюдение (неоптимального) плана формирования поездов строго контролируется автоматизированной системой контроля.

Для того чтобы восполнить существующий пробел в диспетчерском руководстве эксплуатационной работой и обеспечить эффективность плана формирования поездов, целесообразно ввести диспетчера по управлению вагонопотоками.

Основными задачами диспетчера по управлению вагонопотоками должны быть:

- своевременная временная отмена неэффективных назначений поездов;
- своевременное временное введение эффективных назначений, не включенных в план формирования;
- перераспределение сортировочной работы между станциями при необходимости;
- введение формирования более дальних назначений поездов при:
 - нехватке локомотивов или локомотивных бригад;
 - предоставлении «окон»;
 - перерывах движения поездов;
 - перенасыщении участков или направлений поездами;
- регулирование насыщения участков (направлений) поездами путем:
 - временного формирования более дальних назначений поездов;
 - отклонения вагонопотоков, в том числе формирования поездов другого веса и длины;
- использования регулировочных мероприятий для сохранения эффективности назначений поездов;
- временное введение групповых поездов с подборкой вагонов для оказания помощи грузовым станциям.

Выполнение перечисленных задач (табл.1.) требует автоматизации сбора необходимой информации и выполнения вычислений, наглядного представления ситуации, создания методики принятия решений и регистрации принятых решений.

Для получения ответов на вопросы, которые возникают при решении вышеперечисленных задач необходимо составить модели накопления составов, обеспечения их локомотивами, загрузки сортировочных станций, насыщения участков (направлений) поездами.

Оперативное слежение за колебаниями вагонопотоков

Как известно, целесообразность выделения струи вагонопотока в самостоятельное назначение определяется достаточным условием, в соответствии с которым приведенная экономия от пропуска вагонопотока через сортировочную станцию без переработки должна быть больше затрат на накопление составов. Среднесетевая разница простоя транзитного вагона с переработкой и без переработки равна 11 ч, что на 2,5 ч больше среднесетевых затрат на накопление составов. Эта разница свидетельствует о наличии значительного резерва дальнейшего повышения транзитности вагонопотоков. Практически он имеет еще большую величину за счет вагонопотоков, которые в настоящее время при расчете

плана формирования не выделены в самостоятельные назначения, но значительное число дней в году целесообразны для такого выделения.

Вследствие посуточных и внутрисуточных колебаний назначения плана формирования могут становиться меньше минимальной величина вагонопотока, удовлетворяющего достаточному условию, а не выделенные в самостоятельные назначения вагонопотоки – превышать эту минимальную величину.

В качестве инструмента для оперативного слежения и своевременной отмены неэффективных назначений поездов и выделения струй вагонопотоков, ставшими эффективными, предлагается непрерывное моделирование процесса накопления составов на сортировочных станциях. Модель накопления составов ведется на основе подхода поездов. Сравнение нормативных и фактических затрат времени на накопление составов позволит диспетчеру заблаговременно увидеть изменение размеров вагонопотоков и еще до прибытия вагонов на станцию принять решение о необходимой корректировке плана формирования. Появление красного цвета говорит о необходимости временной отмены маломощного назначения. Появление зеленого цвета говорит о целесообразности временного введения возросшего назначения, ранее не включенного в план формирования.

Перераспределение сортировочной работы

Условия работы сортировочных станций целесообразно характеризовать режимом (рис. 1). Режим работы сортировочной станции зависит от содержания рабочего парка вагонов, интенсивности и равномерности подхода поездов, обеспечения сформированных составов поездными локомотивами, своевременности приема и отправления поездов, наличия межоперационных простоев вагонов и показывает необходимость перераспределения загрузки между станциями.

Нормальный режим (рис. 1, область 1) характеризуется своевременным выполнением технологических операций, отсутствием задержек поездов и межоперационных простоев вагонов.

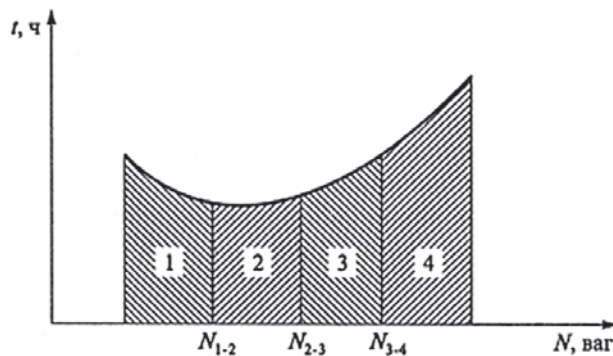


Рис. 1. Режимы работы сортировочной станции

Таблица 1.
Причины и методы диспетчерской корректировки плана формирования

№ п/п	Прогнозирование затруднений в эксплуатационной работе	Оперативная корректировка плана формирования	Ожидаемый результат	Эффективность
1.	Превышение нормы простоя под накоплением	Временная отмена неэффективного назначения поездов	Реализация оптимального варианта плана формирования	Сокращение простоя вагонов и ускорение доставки грузов
2.	Увеличение вагонопотока, не включенного в план формирования	Временное назначение эффективного назначения поездов	Повышение транзитности вагонопотоков	Снижение переработки на попутной тех. станции, ускорение доставки грузов
3.	Часть составов не обеспечена локомотивами в планируемом периоде	Формирование дополнительных более дальних назначений поездов	Временное уменьшение формируемых составов	Сокращение простоя составов в ожидании локомотивов
4.	Снижение размеров движения на прилегающих участках	Формирование дополнительных более дальних назначений поездов	Приведение в соответствие числа формируемых составов и возможностей их отправления	Сокращение простоя составов в ожидании отправления
5.	Станция не обеспечивает своевременную переработку вагонопотоков	а) За счет перераспределения вагонопотоков между назначениями поездов; б) Формирование маршрутов из порожних вагонов на близлежащих грузовых станциях	Снижение объема переработки на станции, испытывающей затруднения	Своевременная переработка вагонов на станции
6.	Сгущение выгрузки вагонов в один из периодов суток	Рассмотрение целесообразности маршрутизации в период сгущенной выгрузки	Повышение уровня маршрутизации порожних вагонопотоков	Повышение транзитности и ускорение оборота
7.	Перенасыщение участков поездами, «окна», отказы	Временное назначение более дальних назначений поездов	Повышение транзитности вагонопотоков	Снижение загрузки участков
8.	Грузовая станция не обеспечивает своевременную подачу вагонов на грузовые фронты	Временное назначение групповых поездов с подборкой вагонов	Уменьшение маневровой работы на грузовой станции	Сокращение простоя вагонов, увеличение погрузки и выгрузки

Если в нормальном режиме обеспечивается минимальное время нахождения вагонов на станции, то такой режим называется оптимальным (рис. 1, область 2).

Утяжеленный режим (рис. 1, область 3) характеризуется содержанием избытка вагонного парка и наличием межоперационных простоев вагонов.

Тяжелый режим (рис. 1, область 4) кроме содержания избытка вагонного парка и наличия межоперационных простоев вагонов характерен задержками поездов по неприему.

Необходимость перераспределения сортировочной работы между техническими станциями при оперативном управлении возникает при несоответствии интенсивности подвода поездов и возможности их переработки (при утяжеленном и тяжелом режимах работы). Причем это несоответствие может возникнуть как из-за изменения интенсивности подвода поездов к станции, так и перерабатывающей способности. Последнее может быть вызвано изменением числа сортировочных путей, несвоевременным вывозом

поездов со станции, ремонтными работами на горке и т.д. Потребность перераспределения сортировочной работы возникает при составлении и корректировке плана формирования поездов, сменно-суточном планировании поездной работы, ремонтно-строительных работах на станциях и перегонах. Методы перераспределения вагонопотоков для этих задач одни и те же. Рассмотрим их на примере регулирования загрузкой технических станций в оперативном планировании поездной работы. Следует сразу отметить, что предлагаемый способ уменьшения объема переработки вагонов на одной из станций не вызывает ее увеличения на такую же величину на других станциях. Как правило, это сопровождается снижением общего объема переработки вагонов.

Сортировочная работа перераспределяется за счет выделения струй вагонопотоков в дополнительные более дальние назначения, чем предусмотрено планом формирования, либо перераспределения вагонов между назначениями поездов. Формирование дополнительных более дальних назначений поездов целесообразно как при возрастании вагонопотока (N), обеспечивающем превышение экономии от пропуска поездов без переработки на попутных технических станциях ($T_{эк}$) над затратами на накопление составов (cm), так и при увеличении $T_{эк}$ в связи с возросшим объемом переработки и сокращением затрат на накопление составов при ступенчатом поступлении вагонов. Изменения мощности струй вагонопотоков или нормативов плана формирования являются достаточным основанием для выделения дополнительных назначений, когда

$$NT_{эк} \geq cm.$$

Изменение загрузки сортировочных станций за счет перераспределения вагонов между назначениями поездов основано на том, что струи вагонопотоков, выделенные в самостоятельные назначения, часто значительно превышают достаточную для этого минимальную величину. В то же время смежным с ними более коротким струям для целесообразности выделения в отдельные назначения не хватает незначительного числа вагонов. Поэтому их объединяют с еще более короткими струями, и вагонопотоки дополнительно перерабатывают на попутных технических станциях. При необходимости уменьшения загрузки попутных технических станций транзитность поездов может быть повышена перераспределением вагонов между смежными струями вагонопотоков благодаря некоторому разукрупнению более дальних назначений для пополнения коротких струй.

Причем для пополнения могут использоваться струи вагонопотоков, первоначально удовлетворяющие достаточному условию, но у которых избыток вагонов меньше недостатка в смежной струе.

Последовательность выполнения расчетов при перераспределении сортировочной работы между техническими станциями:

1. Выявляют струи вагонопотоков, удовлетворяющие достаточному условию, выделенные в транзитные назначения поездов через рассматриваемую станцию.
2. Выявляют струи вагонопотоков, удовлетворяющие необходимому условию, которые после пополнения смогут проследовать станцию без переработки.
3. Из струй, удовлетворяющих необходимому условию, выделяют такие смежные, с которыми более дальние струи удовлетворяют достаточному условию.
4. Для струй вагонопотоков, выделенных согласно пункта 3, находят недостаток вагонов для выполнения достаточного условия.
5. Выявленные в пункте 4 струи, пополненные недостающим числом вагонов, проверяют на выполнение достаточного условия.

При необходимости уменьшения загрузки попутных технических станций транзитность поездов может быть увеличена перераспределением вагонов между смежными струями вагонопотоков благодаря некоторому разукрупнению более дальних назначений для пополнения коротких струй. Причем для пополнения могут использоваться струи вагонопотоков, первоначально удовлетворяющие достаточному условию, но у которых избыток вагонов меньше недостатка в смежной струе. Это объясняется тем, что уменьшение дальней струи вагонопотока для пополнения ближней в достаточном условии одинаково влияет на изменение величин правой и левой частей неравенства (между экономией и затратами приведенных вагоно-часов), не меняя их соотношения.

Управление числом формируемых составов

Автоматизация планирования составаобразования позволяет моделировать процесс накопления составов на 8 часов, а в перспективе до 24-30 часов вперед, т.е. еще до прибытия вагонов на станцию. Прогноз организации вагонопотоков по действующему плану формирования во взаимодействии с графиком движения поездов позволяет не только своевременно осуществить необходимые регулировочные меры по обеспечению составов локомотивами, бригадами, но и заблаговременно выявить, когда после реализации этих мер не все составы будут обеспечены локомотивами или «нитками» графика движения. В этом случае для приведения в соответствие числа составов, локомотивов, бригад и «ниток» графика движения на планируемый период необходима оперативное управление организацией вагонопотоков.

Другим случаем требующим управления числом формируемых составов является необходимость соз-

дания условий для выполнения графика движения поездов, т.е. регулирования насыщения участков поездами.

Эффективность использования железнодорожных линий во многом зависит от насыщения их поездами. Изменение насыщенности участков поездами приводит к существенным изменениям использования пропускной способности и участковой скорости движения. При увеличении на участках числа поездов возрастает их взаимное влияние друг на друга. В этих условиях возникновение даже незначительных помех движению вызывает существенное снижение средней скорости следования всех поездов. Поэтому важной задачей является определение допустимого насыщения участков поездами и установление влияния перенасыщения на показатели эксплуатационной работы.

Задачи, решаемые диспетчерским аппаратом в каждый момент времени, и его действия должны различаться в зависимости от режима поездной работы (рис. 2).

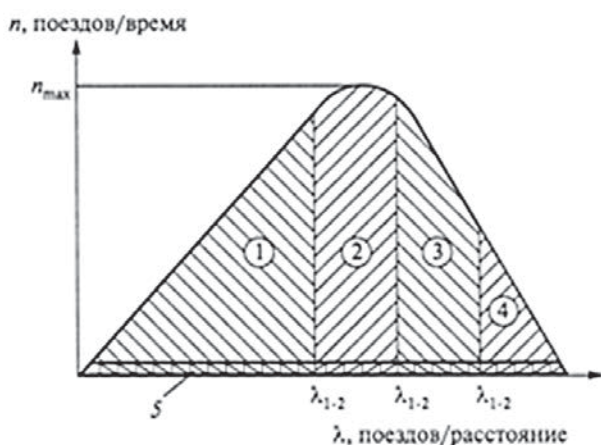


Рис. 2. Режимы поездной работы

Нормальный режим поездной работы (рис. 2, область 1) характеризуется выполнением норматив графика движения поездов. В оптимальном режиме (рис. 2, область 2) к тому же реализуются максимальные размеры движения. Утяжеленный режим (рис. 2, область 3) характеризуется перенасыщением участка поездами. В тяжелом режиме (рис. 2, область 4) перенасыщение участка поездами приводит к дефициту режима работы локомотивных бригад и необходимости «бросания» поездов на промежуточных станциях. При аварийном режиме (рис. 2, область 5) прекращается движение поездов из-за отказов инфраструктуры и подвижного состава или сдвига груза на открытом подвижном составе.

В зависимости от режима работы диспетчерским аппаратом должны решаться различные задачи управления поездной работой. В нормальном и оптимальном режимах – обеспечение соблюдения установленных

нормативов графика движения, предотвращение перенасыщения участков поездами и станций вагонным парком. В утяжеленном и тяжелом режимах – ликвидация перенасыщения участков поездами и восстановление нормального режима. В аварийном режиме – быстрая ликвидация и предотвращение распространения сбоя движения поездов.

Поездной диспетчер на своем уровне не в состоянии создать оптимальные условия работы участка. Об этом должен заботиться на более высоком уровне дорожный диспетчер. В результате, задача создания оптимальных условий поездной работы объединяет все уровни диспетчерского управления единой целью, общими задачами, ликвидирует барьеры местных интересов. Создание и поддержание оптимальных условий поездной работы требует решения задачи по регулированию насыщения участков поездами.

Временно сократить число формируемых составов можно введением дополнительных более дальних назначений поездов. В оперативных условиях при достаточно продолжительном простое составов в ожидании отправления возможность его сокращения может настолько увеличить экономию приведенных вагоно-часов, что превысит затраты и тогда становится оправдана оперативная корректировка плана формирования и целесообразно временно дополнительно ввести более дальнее назначение. В результате вместо непроизводительного ожидания в парке отправления будет сформирован состав более дальнего назначения, который затем проследует без переработки одну или несколько технических станций. В этот период может сократиться простой и других поездов в ожидании отправления. Эффективность введения дополнительных назначений следует рассматривать для тех составов, которые не могут быть обеспечены локомотивами или бригадами. Такая локальная оперативная корректировка плана формирования возможна в связи с тем, что на других станциях не меняется организация вагонопотоков, в том числе не увеличивается объем переработки вагонов.

Скорректированный таким образом предварительный план составления становится окончательным. Например, на основе прогноза в 6-часовом периоде будет сформировано 22 состава, а локомотивами будут обеспечены 19, локомотивными бригадами – 20, «нитками» графика – 18 составов. При работе без изменения плана формирования возникнет простой составов в ожидании локомотивов и поездов в ожидании отправления. Временное увеличение числа назначений поездов позволит увеличить время накопления составов, сократить число сформированных составов в рассматриваемый период и уменьшить непроизводительный простой составов и поездов.

Аналогичную методику (управления технологией) временного сокращения числа формируемых составов за счет введения дополнительных более дальних назначений поездов целесообразно применять, когда сверхграфиковые предупреждения об ограничении скорости, «обкатка» после капитального ремонта пути или «окна» существенно снижают размеры движения поездов на прилегающих участках. В настоящее время в указаниях на предоставление «окна» для ремонтно-строительных работ перечисляются «нитки» графика движения, по которым отменяется следование поездов. На участок такие поезда не отправляются, но формирование их никто не отменяет, и они непроизводительно простаивают в парке отправления в ожидании окончания «окна». На период «окна» целесообразно рассмотреть возможность формирования поездов более дальних назначений, чем предусмотрено планом формирования. Если ликвидация простоя составов в ожидании окончания «окна» обеспечит превышение экономии приведенных вагоно-часов над затратами, то следует на период «окна» вводить формирование поездов более дальнего назначения.

Технология работы железнодорожных участков, станций и грузовых фронтов в настоящее время включает две составляющие: последовательность операций и технологические нормы их выполнения. При высокой грузонапряженности сети железных дорог часто этого бывает недостаточно. Участки оказываются перенасыщенными поездами, станции – вагонным парком, на грузовые фронты несвоевременно поступают вагоны. Это приводит к тому, что нарушаются график движения поездов, технологический процесс работы станций, невосполнимо теряется выгрузочная способность грузовых фронтов. В связи с этим нормативно-технологические документы не могут реализовать свои возможности. Необходима третья составляющая технологии – создание условий для выполнения нормативно-технологических документов, т.е. регулирование насыщения участков поездами, станций вагонным парком, своевременным поступлением вагонов на станции погрузки и выгрузки.

Тем не менее, реальные ситуации на участках, станциях и грузовых фронтах часто отличаются от нормативно-технологических документов. Для их адаптации к реальной обстановке необходима четвертая составляющая – управление технологией. Основное назначение управления технологией – адаптация (временная корректировка) нормативно-технологических документов к реальной обстановке.

Для выполнения задач управления технологией уже есть поездной диспетчер, диспетчер-вагонораспорядитель, локомотивный диспетчер, дорожный диспетчер, но для охвата решения всех задач еще нужен диспетчер по организации вагонопотоков.

Для того чтобы диспетчерский аппарат мог своевременно и эффективно реализовать многогранные возможности управления технологией, технологические решения всех эксплуатационных задач должны быть формализованы и представлены автоматизированной системой. Диспетчеру останется только ввести исходные данные и получить готовый результат решения. Это необходимо, т.к. по окончании смены диспетчер должен представить обоснование всех принятых решений по оперативной корректировке нормативно-технологических документов.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

- **Левин Дмитрий Юрьевич**
Москва, РУТ (МИИТ), старший научный сотрудник кафедры «Управление эксплуатационной работой и безопасностью транспорта», доктор технических наук, профессор
levindu@yandex.ru



УДК 656.222.3

Рубцов Д.В., Шиндеров Р.В., Щепанов А.Л.

Оперативное управление в рамках технологии организации вагонопотоков

В настоящее время за рамками технологии организации вагонопотоков в не автоматизированном виде находится процесс оформления оперативных приказов на изменение порядка следования поездо- и вагонопотоков. Оформление таких приказов осуществляется в регулярном режиме и существенно влияет на подготавливаемую отчетность, а также процессы прогнозирования и анализа перевозочного процесса.

Анализ оформленных приказов (рис.1), оформленных в «не электронном» виде за один месяц 2018 года, показал, что в междорожном сообщении было оформлено порядка 500 приказов на изменение направления следования и составности поездов, при этом в качестве причины оформления приказа в основном фигурировало «повышение эффективности» или «нормализация» эксплуатационной обстановки. Временной период оформления приказов охватывает сутки в целом, что не позволяет осуществлять согласование каждого изменения со специалистами по плану формирования грузовых поездов. Это формирует требование к предлагаемому решению по автоматизированной оценке технологической и экономической эффективности, с целью обеспечения возможности предварительного анализа предполагаемого отклонения поездо и вагонопотока.

Программное обеспечение анализа выполнения плана формирования грузовых поездов и выявления нарушений, эксплуатируемое в ОАО «РЖД» в рамках Автоматизированной системы оперативного управления перевозками (АСОУП) и Автоматизированной системы организации вагонопотоков (АСОВ), не имея данных о наличии оперативных приказов, принимает в учет нарушений поезда, по которым порядок следования был изменен. Отсутствует автоматизированная оценка правомерности оперативных приказов (как по уровню руководства, так и по классам допустимых управляющих воздействий) и наличия технологических оснований. Одно из актуальных и важных требований руководства компании по реализации логического контроля формирования и отправления поездов в соответствии с действующим планом формирования (рис.2) в таких условиях является нереализуемой задачей.

В рамках развития Программного обеспечения технологии организации вагонопотоков (АСОВ) в 2019 году выполнена разработка подсистемы, заполняющей данный пробел – Подсистемы оперативного управления вагонопотоками (АСОУВ).

Подсистема АСОУВ должна обеспечивать средства автоматизированного принятия решений об оперативном отклонении поездо- и вагонопотоков с оценкой

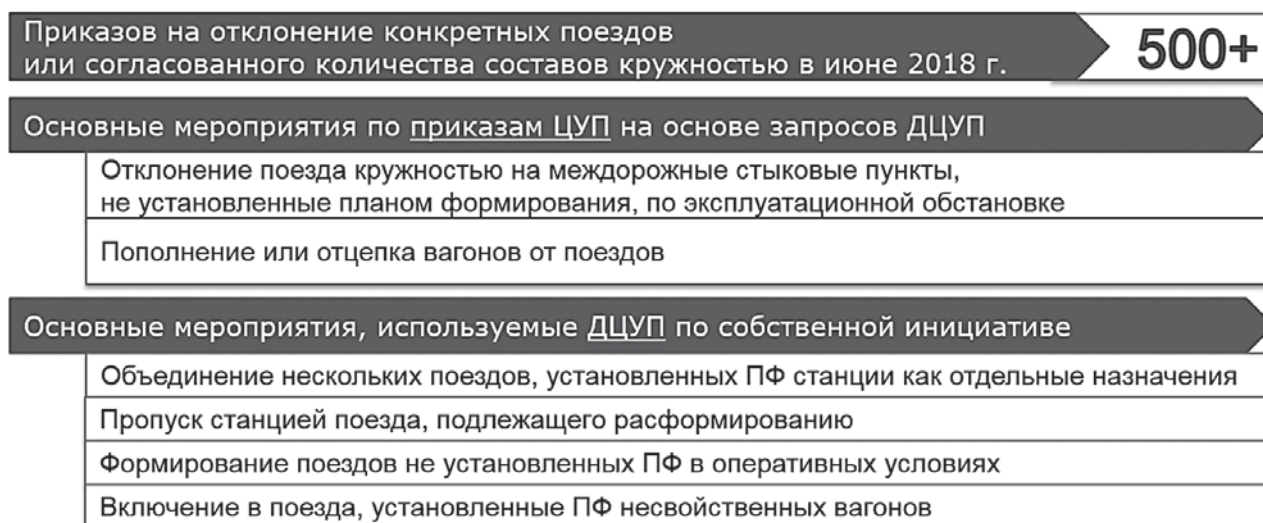


Рис.1. Анализ оформленных оперативных приказов

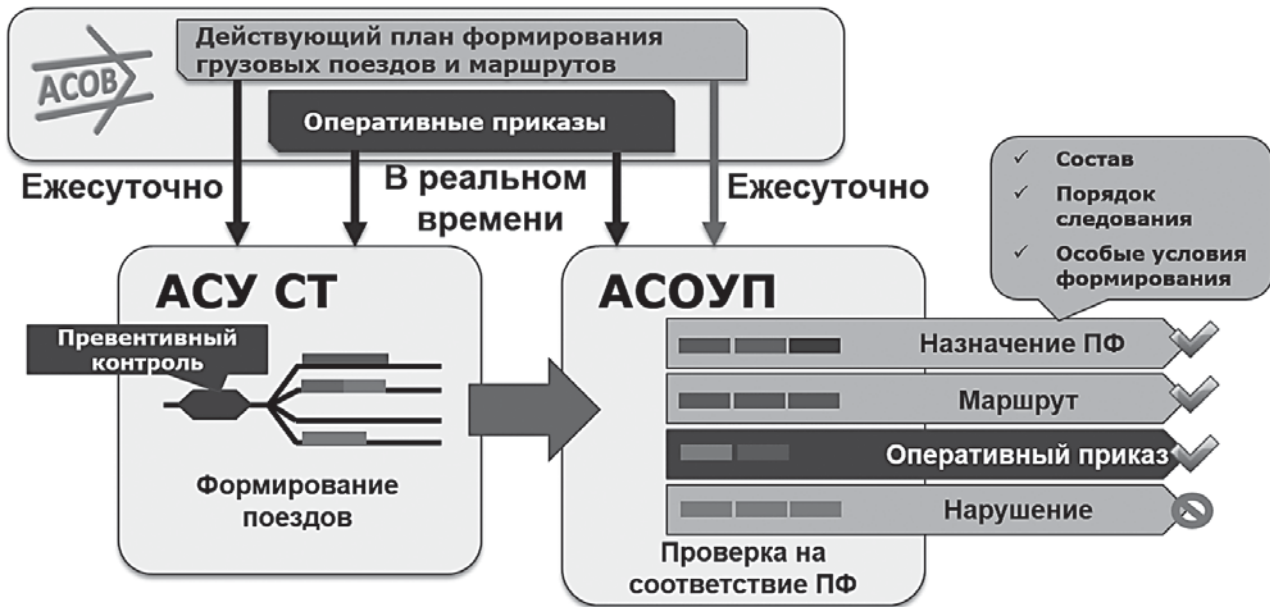


Рис.2. Логический контроль

эффективности по различным вариантам и дальнейшее ведение реестра приказов об оперативных отклонениях на автоматизированных рабочих местах оперативно-диспетчерского персонала. Критически важное требование по реализации АСОУВ заключается в необходимости предоставления данной информации в АСОУП с целью учета в контроле и передачи в смежные системы управления перевозочным процессом.

Разработанная целевая архитектура системы (рис. 3) предусматривает выделение такой логической единицы, как оперативный приказ, и ее внутренних составляющих – мероприятий по изменению порядка следования для конкретных поездов (в случае, если они уже сформированы) и назначений поездов (в случае, если поезд только планируется к формированию).

В качестве мероприятий, включаемых в оперативные приказы, предусматриваются:

- пропуск поездов, установленных планом формирования грузовых поездов (ПФ) и сформированных в соответствии ПФ, кружными (отличными от нормативных) междорожными стыковыми пунктами;
- включение в поезда, установленные ПФ, несвойственных вагонов;
- формирование поездов, не установленных ПФ, в оперативных условиях;
- объединение на станции нескольких поездов, установленных ПФ, в отдельные поезда;
- расформирование поезда не на станции первоначального назначения.



Рис.3. Архитектурные решения

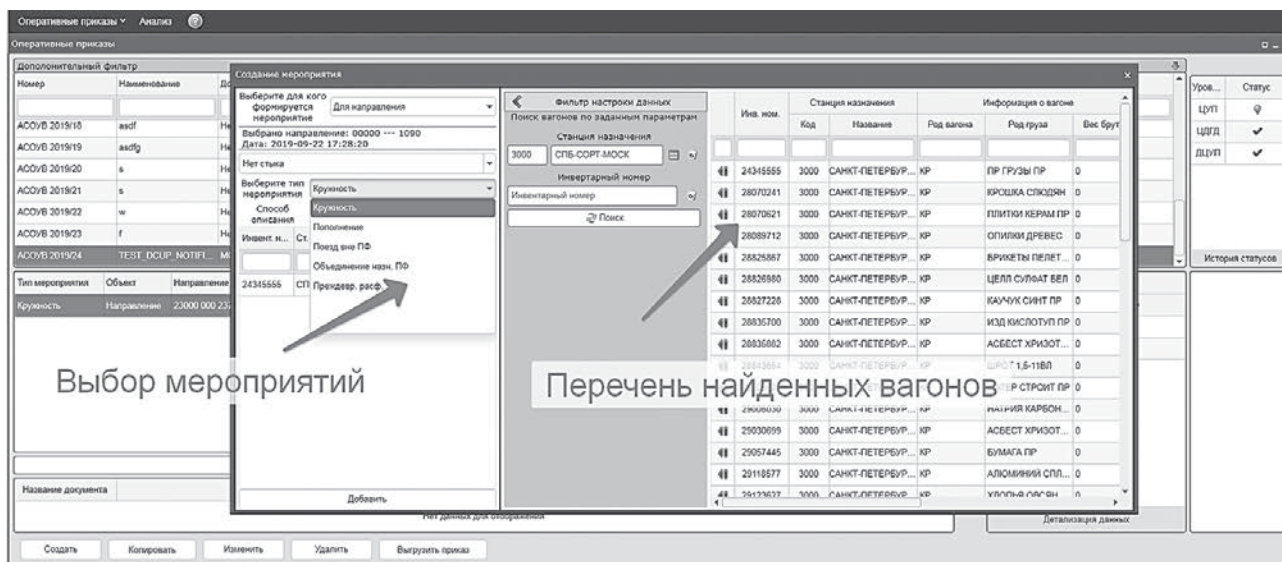


Рис. 4. Интерфейсные решения

Программное обеспечение предусматривает возможность расширения перечня видов мероприятий, исключая возможность неформализованного описания оперативных приказов в дальнейшем.

Каждый вид мероприятий предусматривает индивидуальные требования по формату детализирующей информации, однако общим является указание междорожного стыкового пункта перехода. В качестве примера детализации мероприятий может служить перечень вагонов для включения в поезд с отклонением от установленного плана формирования. При этом допускается вариативность описания мероприятий, позволяющая указывать как перечень конкретных инвентарных номеров вагонов, так и только станции их назначения.

Блок согласования в АСОУВ предусматривает иерархически обоснованный способ верификации запроса на оперативный приказ: все оформленные специалистами ДЦУП приказы проходят первичную проверку на корректность и обоснованность главным диспетчером ЦУП, и только при подтверждении попадают на согласование руководителю ЦУП или ответственному руководителю ЦД.

В процессе согласования оперативных приказов руководителями ЦУП/ЦД и главным диспетчером могут быть сформулированы требования по доработке мероприятий или переработке приказа в целом. Данные требования вводятся в системе, и история согласования хранится для дальнейшего анализа.

Один из важных критериев возможности использования подсистемы АСОУВ, пользователями которой являются специалисты оперативно-диспетчерского персонала, являются эргономичные решения по пользовательскому интерфейсу (рис. 4), требующие интеграции с системами, ведущими информацию о пере-

возочном процессе. По этой причине выбор поездов и вагонов осуществляется с помощью поиска по ключевым полям в базах данных перевозочного процесса, исключая необходимость ввода всего реквизитного состава вручную пользователем подсистемы. Пользователю нужно лишь выбрать найденные системой значения из списка.

При вводе мероприятий, изменяющих направление следования поездов, АСОУВ в автоматизированном режиме осуществляет расчет и сопоставление параметров пропуска по действующему плану формирования и предложенному варианту и предоставляет инициатору приказа первичную оценку. Такая реализация должна обеспечить возможность принятия решения о необходимости мероприятий еще до их итогового оформления в приказ.

Для приказов определен генерируемый системой шаблон документа, экспортируемый в офисное приложение. Этот шаг важен на первом этапе внедрения системы с целью минимизации работы пользователей с офисными приложениями. В дальнейшем, при успешной эксплуатации системы, возможен отказ от бумажной формы оформления приказов и переход на электронный документооборот в рамках данного бизнес-процесса.

Для оценки работы пользователей, а также выявления необходимости внесения изменений в технологию организации вагонопотоков, АСОУВ содержит функциональный состав анализа оформленных мероприятий. Первая версия подсистемы оценивает объемы оформленных приказов по дирекциям. Последующее развитие предоставит более детализированный и настраиваемый анализ оперативных мероприятий.

В 2018 году на рабочих местах специалистов диспетчерского персонала дирекций управления дви-

жением был обеспечен доступ к Порталу технологии организации вагонопотоков (АСОВ-ПОРТАЛ) для использования информации об актуальном плане формирования грузовых поездов. С целью упрощения внедрения и использования АСОУВ доступ к подсистеме реализуется через АСОВ-ПОРТАЛ.

Несмотря на то, что первая версия подсистемы предусматривает упрощенные решения по компоновке пользовательского интерфейса (с целью сокращения времени, затрачиваемого пользователями на оформление приказов), при дальнейшем развитии предусмотрена возможность автоматизации дополнительных функций, которые позволят повысить эффективность работы диспетчерского персонала:

- расчет и предложение системой вариантов отклонения вагонопотоков;
- оценка вариантов отклонения с учетом возможностей инфраструктуры;
- согласование вариантов отклонения со специалистами по плану формирования грузовых поездов;
- расширенный анализ исполнения приказов;
- реализация дополнительных форм анализа и отчетности.

Литература:

1. Подорин А.А., Щепанов С.Л., Щепанов А.Л. Диагностика перевозочного процесса на основе хранилища рейсов грузовых вагонов // Сборник трудов седьмой научно-технической конференции с международным участием «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование» (ИСУЖТ-2018, Москва, 14 ноября 2018 г). – М. – Изд-во ОАО «НИИАС», 2018.;
2. 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. – Изд-во ОАО «НИИАС», 2016.;

3. 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:

- **Рубцов Дмитрий Валерьевич**
Москва, АО «Институт экономики и развития транспорта», и.о. начальника отдела отделения эксплуатации железных дорог и взаимодействия транспортных систем
dmitriy.rubtsov@gmail.com
- **Шиндеров Роман Викторович**
Москва, АО «ИЭРТ», техник отделения эксплуатации железных дорог и взаимодействия транспортных систем
10roma10@mail.ru
- **Щепанов Алексей Леонтьевич**
Москва, АО «ИЭРТ», ведущий научный сотрудник отделения эксплуатации железных дорог и взаимодействия транспортных систем
crsm71@gmail.com



УДК 656.22, 65.011.56, 656.073, 656.025.4

Матвиенко В.А., Симонов А.В., Бородулин С.В., Груздева Е.А.

Управление локомотивным комплексом в ИСУЖТ

В 2012 году в рамках работ по проекту «Единая интеллектуальная система управления и автоматизации производственных процессов на железнодорожном транспорте» (ИСУЖТ) по согласованию с функциональным заказчиком – Дирекцией тяги ОАО «РЖД», было принято решение о создании технологической подсистемы «Управления тяговым хозяйством» (далее – УТХ, подсистема).

За истекший период было разработано более 20 модулей подсистемы, из них часть модулей проходит опытную эксплуатацию. Другие находятся в постоянной эксплуатации, но на этом процесс развития подсистемы не заканчивается. Непрерывное улучшение подсистемы, ее функциональное совершенствование и модификация продолжают постоянно.

Предназначением технологической подсистемы «Управление тяговым хозяйством» является автоматизация основных бизнес-процессов локомотивного комплекса ОАО «РЖД» с использованием системного подхода к управлению.

Автоматизации подлежат процессы планирования и обеспечения содержания локомотивных бригад и тягового подвижного состава, а также процессы планирования и контроля проведения ремонтов и технического обслуживания локомотивов.

В рамках подсистемы решаются задачи планирования и обеспечения содержания локомотивов (включая их ремонт) и локомотивных бригад на горизонтах от годового до сменно-суточного и текущего (на следующие несколько часов).

Автоматизируемые процессы сгруппированы по модулям подсистемы, при этом расчеты, производимые на различных горизонтах планирования, взаимосвязаны между собой в рамках сквозных бизнес-процессов. Кроме этого, подсистема тесно взаимодействует как со смежными подсистемами ИСУЖТ, так и с внешними системами через интеграционную платформу (подсистема ВИСД ИСУЖТ).

На данный момент подсистема развернута на Восточном полигоне ОАО «РЖД», ведутся работы по ее адаптации и внедрению на всей сети железных дорог с учетом топологических и технологических особенностей каждого полигона внедрения.

В процессах планирования на Восточном полигоне участвуют более 32 000 работников локомотивных бригад, более 2 936 локомотивов, более 34 эксплуатационных локомотивных депо, а также более 48 локомотиворемонтных предприятий, включая СЛД (сервисные локомотивные депо, сервисные отделения и участки) и локомотиворемонтные заводы.

Начиная со следующего года, планируется расширение полигона внедрения до сети ОАО «РЖД», где в планировании будут участвовать уже более чем 120 000 сотрудников локомотивных бригад, более 18 800 локомотивов, около 150 эксплуатационных локомотивных депо, а также более 140 локомотиворемонтных предприятий, включая СЛД и локомотиворемонтные заводы.

В ходе планирования содержания и ремонта тягового подвижного состава решаются как задачи обеспечения выданного задания на содержание эксплуатируемого парка локомотивов, так и соблюдения норм пробега локомотивов до ремонта, так и задачи оптимального формирования равномерной по времени загрузки ремонтных предприятий с учетом их мощностей и перечней ремонтируемых серий локомотивов.

Работа модулей планирования содержания и ремонтов локомотивов происходит в едином цикле, в котором решения модуля содержания локомотивов используются для определения потребности в ремонте (например, при постановке и выводе ТПС из консервации), а возможности ремонтных предприятий гарантируют проведение необходимого количества ремонтов для поддержания ТПС в работоспособном состоянии.

В ходе планирования содержания локомотивных бригад решаются как задачи обеспечения выданного задания на содержание контингента локомотивных бригад, так и оптимизации выработки рабочего времени локомотивных бригад.

В ходе реализации подсистемы возник ряд сложностей, а именно:

- большие объемы передаваемых и обрабатываемых данных;
- необходимость проведения планирования в короткие сроки (несколько минут);

- объединение и верификация недостаточно консистентных входных данных из внешних систем ОАО «РЖД»;
- большое количество правил и ограничений в технологиях планирования и их частые пересмотры.

На рисунке 1 представлена упрощенная схема модулей годового, квартального, месячного и сменно-суточного планирования содержания локомотивных бригад, а также диспетчерского регулирования на текущем горизонте (до 6 часов).



Рис.1 Годовое, квартальное, месячное, сменно-суточное планирование содержания локомотивных бригад

Технология планирования построена таким образом, что при условии выполнения упреждающих мероприятий по обеспечению наряд-заказов содержания локомотивных бригад на годовом, квартальном и месячном горизонтах планирования, обеспечивается задел в контингенте локомотивных бригад для выполнения суточных наряд-заданий, а также возможности для оперативного диспетчерского регулирования на текущем горизонте.

В рамках функционального развития комплексной задачи содержания локомотивных бригад рассматривается решение следующих задач:

- интеграция с АС ВОУ в части наряд-заказов на содержание ЛБ;
- перепланирование в период исполнения;
- расширение полигонов внедрения на сети ОАО «РЖД»;
- интеграция с именными графиками и подбором предварительной явки после поездки.

Одной из важных характеристик процесса планирования содержания локомотивных бригад является равномерная выработка рабочего времени. Для оптимизации этой характеристики реализуются дополнительные модули комплексной задачи содержания локомотивных бригад, автоматически формирующие типовые и именные графики работы локомотивных бригад, тесно интегрированные с модулями планирования предварительной явки после поездки, так и с

модулями сменно-суточного планирования и диспетчерского регулирования содержания локомотивных бригад (см. рисунок 2).



Рис.2 Формирование графиков работы и планирование следующей явки локомотивных бригад

На рисунке 3 представлена упрощенная схема модулей годового, квартального, месячного и сменно-суточного планирования содержания локомотивов, а также диспетчерского регулирования на текущем горизонте (до 6 часов).



Рис.3 Годовое, квартальное, месячное, сменно-суточное планирование содержания локомотивов

Таким образом, при условии выполнения упреждающих мероприятий по обеспечению наряд-заказов содержания локомотивов на годовом, квартальном и месячном горизонтах планирования, обеспечивается задел в локомотивах для выполнения суточных наряд-заданий, а также возможности для оперативного диспетчерского регулирования на текущем горизонте.

В рамках функционального развития комплексной задачи содержания локомотивов рассматривается решение следующих задач:

- реализация планирования по всем видам движения;
- расширение полигонов внедрения на сети ОАО «РЖД».

На рисунке 4 представлена упрощенная схема модулей годового, квартального, месячного, декадного и суточного планирования постановки ТПС на ремонты.

При условии выполнения программ ремонтов локомотивов достигается минимизация количества перепробежных локомотивов при равномерной загрузке ремонтных предприятий, что позволяет поддерживать на протяжении планового периода потребное содержание локомотивов в эксплуатируемом парке для обеспечения перевозочного процесса.



Достигается цель: Минимизация перепробежных локомотивов при равномерной загрузке ремонтных предприятий

Рис.4 Годовое, квартальное, месячное, декадное и суточное планирование постановки ТПС на ремонты

В рамках функционального развития комплексной задачи планирования постановки ТПС на ремонты рассматривается решение следующих задач:

- реализация планирования по всем видам движения;
- расширение полигонов внедрения на сети ОАО «РЖД».

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Матвиенко Владимир Анатольевич**
Москва, АО «НИИАС»,
заместитель начальника Отделения
v.matvienko@vniias.ru
- **Симонов Алексей Викторович**
Москва, АО «НИИАС»,
начальник отдела
a.simonov@vniias.ru
- **Бородулин Степан Викторович**
Москва, АО «НИИАС»,
начальник отдела
s.borodulin@vniias.ru



УДК 65.011.56, 681.518

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

Повышение качества входных данных для интеллектуального диспетчерского управления

Интеллектуальное диспетчерское управление включает автоматическое построение плана пропуска поездов с использованием технологий искусственного интеллекта. Задача расчета плана пропуска является NP-полной, поэтому решение в реальном времени без методов искусственного интеллекта не может быть найдено.

К системам автоматического планирования перевозочного процесса на железнодорожном транспорте предъявляются такие требования, чтобы в любой ситуации система рассчитывала и выполняла оптимальный план.

Как и каждая информационная система, она требует поступления согласованных и непротиворечивых данных, так и порождает такие данные в процессе своей работы. На Российских железных дорогах для управления перевозочным процессом существует 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 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

В таблице 1 приведена статистика за сутки когда были обнаружены сигналы из системы диспетчерской централизации о том, что на одном пути перегона находятся поезда разных направлений. Физически такое возможно при маневровых работах на станции с выездом на главные пути, но чаще всего причиной служит неполучение корректного номера поезда системой ДЦ из системы ГИД-Урал. В столбце «Количество ошибок в сутки» указано, сколько раз проблема обнаружена на той или иной дороге. Поездное положение загружается с периодичностью раз в 5 секунд и ошибка повторяется многократно. В столбце «Количество уникальных ошибок» указано сколько раз проблема возникла для конкретной пары поездов и пути перегона. Если в момент прихода таких сигналов запустить расчет плана пропуска, то вероятно, что расчет плана пропуска будет невозможен, так как поезда едут «лоб в лоб».

Таблица 1

Дорога	Количество ошибок в сутки	Количество уникальных ошибок
Красноярская	1807	28
Октябрьская	411	94
Восточно-Сибирская	7862	176

В таблице 2 приведена статистика за сутки когда при запуске расчета плана пропуска были обнаружены сигналы из системы диспетчерской централизации о том, что на одной рельсовой цепи (блок-участке) на станции находятся разные поезда. Как правило, такой сигнал вызван аналогичной проблемой в системе ГИД-Урал, когда ввели ошибочное прибытие или формирование на одном пути станции (таблица 3).

В таблице 3 приведена статистика за сутки когда при запуске расчета плана пропуска были обнаружены сигналы из системы ГИД-Урал о том, что на одном пути на станции находятся разные поезда. Данная ситуация может быть объяснена как тем, что не заведены

парки на станции, так и ошибочным вводом пути при фиксации операции с поездом.

Таблица 2

Дорога	Участок планирования	Общее количество ошибок в фактах	Количество уникальных записей с данной ошибкой
Октябрьская	Направление Санкт-Петербург – Невель	92	30
	Направление Печоры Псковские – Сонково	5	2
Восточно-Сибирская	Невельская – Зяба	82	40
	Зяба – Хребтовая	0	0
	Хребтовая – Умбелла	1	1
	Умбелла – Ульги	0	0
	Ульги – Хани	85	6

Таблица 3

Дорога	Планер	Общее количество ошибок в фактах	Количество уникальных записей с данной ошибкой
Октябрьская	Направление Санкт-Петербург – Невель	42	32
	Направление Печоры Псковские – Сонково	2	1
Восточно-Сибирская	Невельская – Зяба	31	6
	Зяба – Хребтовая	1	1
	Хребтовая – Умбелла	9	3
	Умбелла – Ульги	22	3
	Ульги – Хани	174	8

В столбце «Общее количество ошибок в фактах» таблицы 2 и 3 указано число ошибок, зафиксированных в момент запуска планировщика, а в столбце «Количество уникальных записей с данной ошибкой» число уникальных пар поездов во всех расчетах планировщиков в сутки. При поступлении таких сигналов план пропуска рассчитан не будет. Из таблиц мы видим, что за сутки происходит довольно большое количество подобных ситуаций.

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:

- 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;
 - поступление информации о поездном положении поездов разного направления на одном пути перегона;
 - поступление информации о поездном положении двух поездов на одном блоке;
- Выход станций из режима автоматической установки маршрутов, так как при проблемах с входными данными штатная работа станций в режиме АУМ не всегда возможна.
- Нарушение поступления данных от ГИД-Урал:
 - поздняя регистрация сообщений АСОУП об отправлении поезда с технической станции,
 - 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.
- 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. Фиксируемая в информационных системах информация нуждается 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 границы 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.

Работа выполнена при поддержке РФФИ грант № 17-20-01160 ОФИ-М-РЖД «Сравнительный анализ алгоритмов повышения качества входных данных для автоматического планирования перевозочного процесса на железнодорожном транспорте».

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 – Научный руководитель, доктор технических наук
v.matyukhin@vniias.ru
- **Шабунин Александр Борисович**
Москва, АО «НИИАС», руководитель НТК ПРИС
a.shabunin@vniias.ru
- **Ефремова Анастасия Петровна**
Москва, АО «НИИАС», начальник отдела НТК ПРИС, кандидат технических наук
a.efremova@vniias.ru



УДК 656.222, 656.223.2, 656.224, 656.225

Капустин Н.И., Капустина Е.П., Потрахов С.Д.

Интервальное регулирование движения поездов на полигонах сети железных дорог

Темпы роста объемов перевозок на сети железных дорог ОАО «РЖД» значительно опережают темпы модернизации и обновления инфраструктуры. В результате чего, при существующей технологии управления движением поездов, практически исчерпаны пропускные и провозные способности магистралей, особенно в Восточном направлении. В то же время при такой загрузке инфраструктуры железных дорог требуется увеличивать и объемы ремонтных работ для её содержания.

Только на Забайкальской ж.д., при существующей динамике роста объемов перевозок и увеличении грузонапряженности, в 2019 году запланировано оздоровить всеми видами ремонта более 1700 км пути, и это при прогнозируемом росте грузооборота на 3,2%. С учетом сложившейся ситуации, для ликвидации просроченных километров к 2025 году, ежегодная потребность в объемах ремонта на дороге составит уже 600 км. То есть на протяжении 7 лет потребуются отремонтировать тяжелыми видами ремонта почти 4 тыс.км, что составляет более 80% от протяженности дороги по Транссибу.

Применение ряда комплексных технологий, таких как управление движением поездов на полигоне из единого центра управления в Иркутске (ЦУП ВП), организация работы объединенным парком локомотивов, вождение соединенных и тяжеловесных поездов, предоставление «окон» по ремонту пути в едином створе и другие позволили получить существенный рывок в освоении возрастающих объемов перевозок, однако на сегодня и эти резервы практически исчерпаны.

Для дальнейшего повышения качества планирования и управления перевозочным процессом на полигонах сети железных дорог в РЖД внедряется новая информационная система, такая как ИСУЖТ, которая должна оказать диспетчерскому аппарату ЦУП ВП существенную помощь в правильной организации ритмичного продвижения поездо-потоков, и особенно в период предоставления «окон» по ремонту инфраструктуры. Основным элементом грамотного управления движением поездов на ВП должно быть следование грузовых поездов по расписанию, разработанного в

ИСУЖТ (актуальный прогнозный вариантный график движения поездов на планируемые сменно-суточные объемы перевозок по каждой технической станции).

Учитывая накопленный положительный опыт пропуска повышенного объема перевозок в период предоставления «окон» по ремонту инфраструктуры за счет организации вождения соединенных поездов на жесткой сцепке, АО НИИАС предложено в комплексе с ИСУЖТ, организовать внедрение новой технологии интервального регулирования (далее ИР) с организацией вождения поездов на виртуальной сцепке (далее – ВСЦ). Целью данной разработки является дальнейшее увеличение провозной и пропускной способности на 12-16%, по существующей инфраструктуре ОАО «РЖД» с минимальными затратами на её реконструкцию при продолжающем росте объемов перевозок. Данная система должна стать неотъемлемой составной частью программы ИСУЖТ создаваемой институтом для ОАО «РЖД».

Распоряжением ОАО «РЖД» №2095р от 25.09.2018г головной организацией по реализации комплексной технологии интервального регулирования движением поездов на полигонах сети железных дорог определен АО «НИИАС».

В декабре 2018г. на участке Большой Луг – Слюдянка Восточно-Сибирской ж.д. были проведены успешные тестовые испытания новых модемов «Линк-М» на локомотивах серии ЗЭС5к. Весной текущего года продолжены полигонные испытания с грузовыми поездами и одиночными локомотивами (толкачами), следующих друг за другом по технологии виртуальной сцепки (ВСЦ) на участках Восточно-Сибирской магистрали. В 3 квартале т.г. проведены успешные испытательные поездки по вождению грузовых груженых поездов на ВСЦ на участке Хабаровск – Ружино – Находка Дальневосточной ж.д.

По результатам испытаний получено, что у поездов на ВСЦ по сравнению с соединенными поездами на жесткой сцепке участковая скорость возрастает на 20%, сокращается время фактического следования по участку на 11-15%, за счет сокращения времени на формирование (объединение) и расформирование (разъединение) соединенных поездов.



В таблице ниже представлен анализ результатов опытных поездок на участке Хабаровск – Ружино в июле текущего года.

Анализ результатов опытных поездок на участке Хабаровск - Ружино

Анализ показателей следования грузовых поездов в четном направлении на участке Хабаровск - Ружино

Дата	04.07.2019г			04.07.2019г			04.07.2019г		
	ВСЦ чет	ЖСЦ чет	ГРЗ чет	ВСЦ ЖСЦ	ЖСЦ ГРЗ	ГРЗ ВСЦ	ЖСЦ ГРЗ	ГРЗ ВСЦ	
Мед. поезда	9026	9203	2508	9203	9203	9203	9203	9203	
Итого	9700	124 982,9	1625	9700	124 982,9	1625	9700	124 982,9	
Масса	12901	12811	5113	12901	12811	5113	12901	12811	
Длина	112	130	70	112	130	70	112	130	
Масса/длина	120,5	106,2	73,0	120,5	106,2	73,0	120,5	106,2	
Масса/длина	105	3,25	5,09	105	3,25	5,09	105	3,25	
Масса/длина	Грубошер. роллеры	Грубошер. роллеры	Грубошер. роллеры	Грубошер. роллеры	Грубошер. роллеры	Грубошер. роллеры	Грубошер. роллеры	Грубошер. роллеры	
Масса	105	3,25	5,09	105	3,25	5,09	105	3,25	
Хабаровск	2:57	4:58	6:17	2:57	4:58	6:17	2:57	4:58	
Ружино	3:06			3:06			3:06		
Вр. прибы.	10:29	13:58	14:54	10:29	13:58	14:54	10:29	13:58	
Средн.	300,9	14,06		300,9	14,06		300,9	14,06	
Средн.	400	400	400	100,0%	100,0%		400	400	
Средн.	742	950	837	85,6%	85,6%		742	950	
Уч. на стан.	51,9	44,4	46,53	116,9%	116,9%		51,9	44,4	
Средн.	5,50	11,00	10,30	89,4%	89,4%		5,50	11,00	
Средн.	0,42	1,68	1,28				0,42	1,68	
Средн.	10,0%	28,6%	16,4%				10,0%	28,6%	

Анализ показателей следования грузовых поездов в нечетном направлении на участке Ружино - Хабаровск

Дата	05.07.2019г			04.07.2019г			04.07.2019г		
	ВСЦ	ЖСЦ	ЖСЦ	ЖСЦ	ЖСЦ	ЖСЦ	ЖСЦ	ЖСЦ	
Мед. поезда	9203	9203	9203	9203	9203	9203	9203	9203	
Итого	9717	224 9700	9717	224 9700	9717	224 9700	9717	224 9700	
Масса	3264	3424	3424	3264	3424	3424	3264	3424	
Длина	142	142	141	142	142	141	142	142	
Масса/длина	23,0	24,1	24,3	23,0	24,1	24,3	23,0	24,1	
Масса/длина	1,28	6,42	2,00	1,28	6,42	2,00	1,28	6,42	
Масса/длина	Грубошер. роллеры	Грубошер. роллеры	Грубошер. роллеры	Грубошер. роллеры	Грубошер. роллеры	Грубошер. роллеры	Грубошер. роллеры	Грубошер. роллеры	
Масса	0,44	8,13	3,07	0,44	8,13	3,07	0,44	8,13	
Хабаровск	8:06	15:17	10:33	8:06	15:17	10:33	8:06	15:17	
Ружино	7:26			7:26			7:26		
Вр. прибы.	8:06	15:17	10:33	8:06	15:17	10:33	8:06	15:17	
Средн.	400	378	378	122,0%	122,0%		400	378	
Средн.	7,20	8,35	7,26	85,4%	85,4%		7,20	8,35	
Уч. на стан.	246,48	38,1	44,3	142,8%	142,8%		246,48	38,1	
Средн.	7,00	8,33	7,33	81,9%	81,9%		7,00	8,33	

Однако, организация вождения ВСЦ поездов по существующей технологии управления движением поездов и инфраструктуре может дать не только положительный, но скорее всего отрицательный результат, за счёт сгущения поездопотока перед техническими станциями смены ЛБ из-за их слабой развитости.

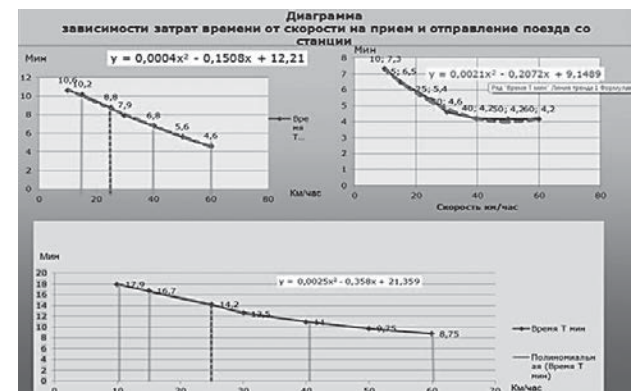
№ стан.	Наименование тех. станции	Длина 700 м		Длина 700 м		Длина 1000 м		Высота/ширина платформы		Проект ТР времени без переработки (ДО-684) км в 21.01 и 22.08.2019г		Средн. скорость	
		вост.	зап.	вост.	зап.	вост.	зап.	вост.	зап.	вост.	зап.		
1.	Маринск	3	3	1	1	3	3	1,8	7	1,1	3,83	3,48	2,36
2.	Воготол	3	1			10	7	1,3	8	0,7	3,37	3,2	2,5
3.	Красноярск	14	10	14	10	14	10	1,1	1,1	1,03	1,03	1,03	0,99
4.	Ильинск	4	1	3		7	9	1,8	1,1	1,42	1,24	1,74	1,74
5.	Тайшет	3	4	6	3	23	12	3,0	1,9	1,12	4,81	3,51	3,51
6.	Нажмудинск			1	1	10	8	1,0	9	1,1	1,8	2,07	0,97
7.	Умань	1	4	1	1	7	8	1,0	1,1	0,5	1,46	1,77	1,77
8.	Иркутск	1	1	1	1	11	7	1,9	1,9	1,0	0,99	1,21	0,22
9.	Самарканд 1	4	4			10	9	1,4	1,4	0,6	1,14	1,47	0,55
10.	Улан-Удэ	3	3	1	1	13	2	1,8	7	1,0	1,22	1,62	0,22
11.	Хилок	1	1			8	4	1,7	3	0,5	1,3	1,42	0,92
12.	Чита 1	1	1	1	1	7	5	1,7	5	0,6	1,19	1,28	0,96
13.	Курганск	1	1			16	7	2,3	9	1,1	2,09	3,45	0,84
14.	Чернышевск			1	1	3	8	1,5	10	0,5	1,79	1,79	1,28
15.	Морьян	1	1	1	1	8	6	1,1	8	1,1	1,79	1,82	0,51
16.	Улан-Удэ	1	4			1	5	1,9	1,0	0,6	1,29	1,72	1,18
17.	Мадаргачи	1	1			8	8	1,4	8	0,6	1,3	1,4	1
18.	Белогорск					12	5	1,2	5	1,0	1,28	1,22	1,02
19.	Облучье	4	4			7	6	1,1	12	0,6	1,18	1,24	0,94
20.	Хабаровск					23	9	2,3	13	1,1	1,89	3,41	1,31
21.	Ружино	1	1			8	7	1,7	7	0,6	1,28	1,97	1,27
22.	Устурьск	1	1			8	4	1,0	9	0,6	1,82	2,02	1,45
23.	Смолинское					3	4	1,5	10	0,8	1,24	1,31	1,41
24.	Ихэда					4	6	1,4	6	1,2			-1,2
25.	Ихэда Вал.					9	13	9	13				0
26.	Владивосток					2	2	2	2				0
	ИТОГО	54	62	63	11	243	154	117	241	0,879	1,82	2,12	1,24

Анализ состояния инфраструктуры технических станций смены локомотивных бригад, на Восточном полигоне показывает, что на технических станциях смены локомотивных бригад превышены нормы простоя транзитного вагона без переработки в 1,4 раза, что является одной из основных причин замедления ритмичного продвижения поездопотока.

Специалистами института выполнено моделирование процессов приема соединенных поездов на технические станции смены ЛБ с различной технологией вождения поездов и скоростями движения по стрелочным улицам.



При этом выявлена закономерность занятости горловин станций от скорости следования по стрелочным переводам и построены графики.



Так, по прибытию поезда длиной 71 усл. вагон на станцию со скоростью 25 км/час горловина станции будет занята 8-9 минут, при отправлении занятость горловины составит 4-5 минут. Дополнительная занятость приемо/отправочного пути к установленному нормативу времени простоя поезда на станции составит еще 14-15 минут.

В целях исключения дополнительного времени занятости приемо/отправочного пути 14-15 минут необходимо провести реконструкцию станций, со

строительством дополнительных, так называемых путей замедления и разгона (длиной около 1500 – 2000 метров). Это позволит исключить случаи остановки ВСЦ поездов у входного сигнала станции.



Как пример, на схеме ниже приведен проект реконструкции станции Уруша.



Моделирование приема ВСЦ поездов с интервалом 5-6 минут и простоем на станции 48 минут под обработкой и сменой ЛБ показало, что при существующей технологии управления и пропуска поездопотока через технические станции смены ЛБ вызовет неизбежную массовую остановку поездов у запрещающего входного сигнала станции и образованию тремба по причине смены локомотивных бригад.



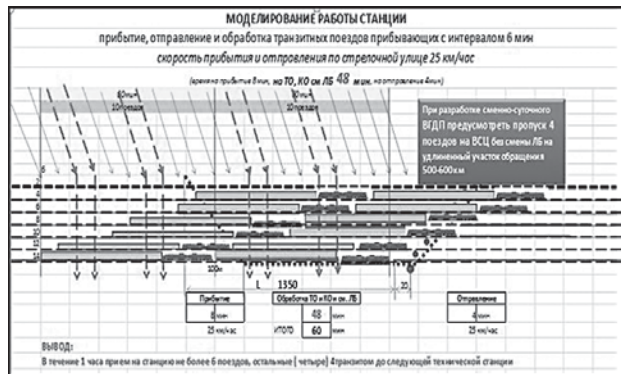
В целях ритмичного пропуска повышенного объема поездопотока, в том числе ВСЦ поездов через технические станции смены локомотивных бригад, предлагается несколько вариантов:

Вариант 1 – проектирование и строительство от 3 до 4-х дополнительных приемно/отправочных путей.

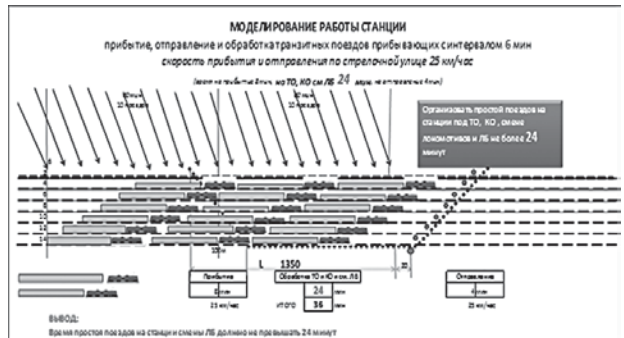
Учитывая, что технические станции смены локомотивных бригад практически все географически находятся в границах городов и поселков, это потребует значительных объемов материальных затрат (*практически не реализуемо*);



Вариант 2 – в течение 1 часа организовать пропуск 1-2 пары поездов на ВСЦ, без остановки на станции для смены локомотивных бригад, то есть организовать работу локомотивных бригад на удлинненных плечах обслуживания;



Вариант 3 – за счет жесткого контроля простоя поездов на станции для смены локомотивных бригад – не более установленного норматива 24-30 минут:



На карте представлены технические станции смены локомотивных бригад, где предлагается применить предлагаемые варианты пропуска поездопотока.

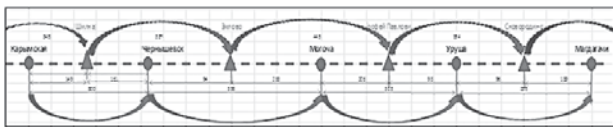
Внедрение выше указанных мероприятий требует пересмотра и внесения изменений в существующую технологию управления тяговыми ресурсами на Восточном полигоне, утвержденную Распоряжением

№ 014р от 03.10.2017г. и в первую очередь в технологию работы локомотивных бригад, с поэтапным увеличением протяженности участков их обращения (т.е. сокращением станций смены локомотивных бригад – за счет удлинения существующих плеч обслуживания).

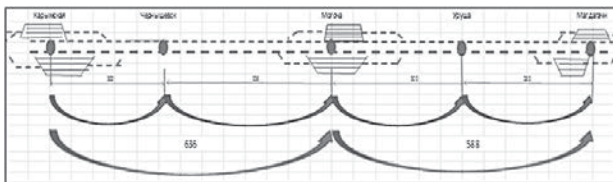


На рисунках ниже приведены:

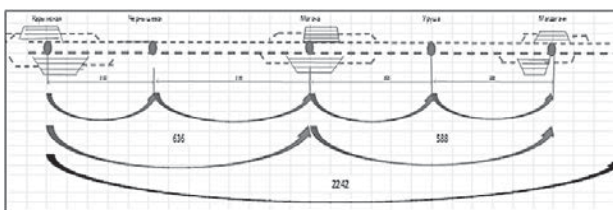
1. Вождение соединенных поездов на ВСЦ, с обслуживанием 10÷15% пар грузовых поездов локомотивными бригадами на существующих плечах обслуживания, протяженностью 250-300км, в соответствии с Распоряжением № 2014р от 3.10.2017г.



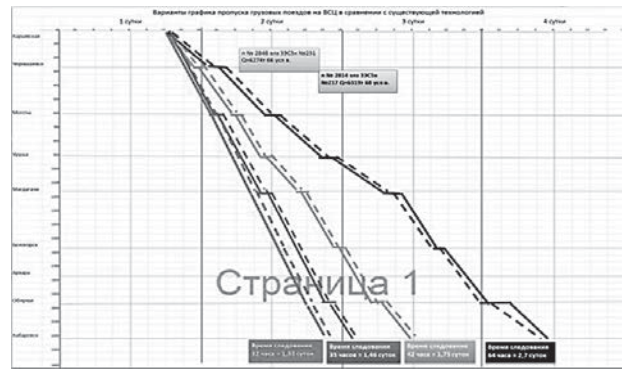
2. Переход на технологию вождения ВСЦ поездов, с обслуживанием 5÷10% пар грузовых поездов локомотивными бригадами на удлинённых плечах обслуживания до 500-600 км



3. Переход на технологию интервального регулирования на ВСЦ, с обслуживанием 2÷3-х пар грузовых поездов с увеличением плеч работы локомотивных бригад по системе «турная езда», в границах полигонов обращения локомотивов Мариинск – Карымская; Карымская – Хабаровск-Смоляниново



Полигонный график движения ВСЦ поездов (в сравнении с существующей технологией) на участке Карымская – Хабаровск будет выглядеть следующим образом:



По результатам анализа данного графика можно сделать следующие выводы:

- **при существующей технологии вождения поездов (график – крайний справа):**
 - 8 станций смены локомотивных бригад;
 - длина УОЛБ – 280-350 км;
 - маршрутная скорость следования 37,5 км/ч.;
 - время следования по участку 64 часа;
 - коэффициент потребности локомотивов на 1 пар поездов $K = 5,4$.

- **вариант 1 – технология ИР для вождения поездов на ВСЦ (график – 2-й справа):**
 - 8 станций смены локомотивных бригад;
 - длина УОЛБ – 280-350 км;
 - маршрутная скорость следования 60 км/ч.;
 - время следования по участку 42 часа;
 - коэффициент потребности локомотивов на 1 пар поездов $K = 3,8$.

Ускорение продвижения поездов по участку (по сравнению с существующей технологией) на 22 часа.

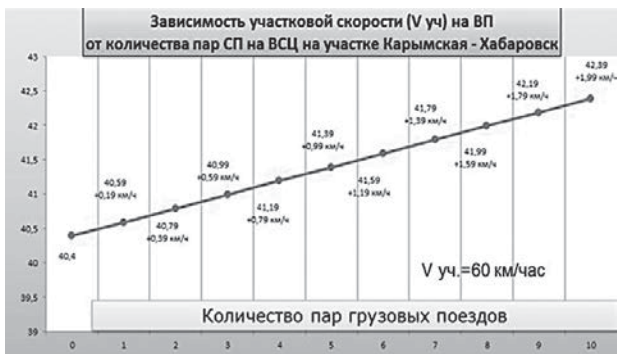
- **вариант 2 – технология вождения поездов на ВСЦ, со сменой локомотивных бригад через 500-600 км. (график – 2-й слева):**
 - 5 станций смены локомотивных бригад;
 - длина УОЛБ – 600-700 км;
 - скорость следования 70 км/ч.;
 - время следования по участку 35 часов;
 - коэффициент потребности локомотивов на 1 пар поездов $K = 3,2$.

Ускорение продвижения поездов по участку (по сравнению с существующей технологией) на 29 часов.

- **вариант 3 – технология вождения поездов на ВСЦ на удлинённых плечах (график – 1-й слева):**
 - 2 станции смены локомотивных бригад (система «турной» езды);
 - длина УОЛБ – 2240 км;
 - маршрутная скорость следования 70 км/ч.;
 - время следования по участку 32 часа;
 - коэффициент потребности локомотивов на 1 пар поездов $K = 3,0$.

Ускорение продвижения поездов по участку (по сравнению с существующей технологией) на 32 часа, т.е. в 2 раза.

4. Применение системы вождения соединенных поездов с интервальным регулированием на ВСЦ увеличивает и показатель участковой скорости, в зависимости от количества проведенных поездов (чем больше поездов, тем выше показатель участковой скорости).



Выводы

Внедрение интервального регулирования для вождения поездов на ВСЦ поможет дать ощутимый положительный результат, если её рассматривать в комплексе с другими технологиями:

1. Правильно и грамотно разработанный сменно-суточный, вариантный и актуальный график движения грузовых поездов, по всем техническим станциям смены локомотивных бригад, на всём полигоне;
2. Дополнительное развитие инфраструктуры приемо/отправочных путей длиной более 1000 м на станциях смены локомотивов и припортовых станциях (для ритмичного приема поездов длиной 71 и более усл. вагонов);
3. Развитием инфраструктуры РАЗГОННО-ЗАМЕДЛЯЮЩИХ путей на станциях смены локомотивных бригад (проектированием и строительством их параллельно главным путям для приема и отправления соединенных поездов);

4. Установлением жесткого контроля со стороны диспетчерского аппарата ЦУП Восточного полигона за выполнением нормативов простоя грузовых поездов на станциях смены локомотивных бригад;

5. Совершенствование технологии управления движением поездов, в части сокращения до минимума станций смены локомотивных бригад (за счёт внедрения технологии работы локомотивных бригад на удлинённых участках обслуживания 600-700 км и «турного метода»).

В заключение хотелось бы процитировать слова из доклада Первого заместителя генерального директора ОАО «РЖД» на сетевом совещании с Первыми заместителями начальников железных дорог, которое проходило в апреле 2019 года в Санкт-Петербурге: *«В условиях устойчивого роста грузооборота приоритетной технологической задачей компании является разработка нового инновационного решения по созданию быстрого и недорогого способа увеличения пропускной способности на лимитирующих участках. Таким инструментом должна стать технология «интервального регулирования движения поездов».*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Капустин Николай Иванович**
Москва, АО «НИИАС», заместитель руководителя Научно-технического комплекса – начальник отделения, кандидат технических наук
n.kapustin@vniias.ru
- **Капустина Елена Петровна**
Москва, РОАТ МИИТ, доцент кафедры «Тяговый подвижной состав», кандидат технических наук
- **Потрахов Сергей Дмитриевич**
Москва, АО «НИИАС», главный специалист отдела планирования перевозок и обеспечения ресурсами НТК ПРИС
s.potrachov@vniias.ru



УДК 656.22, 656.2.004

Ерофеев А.А., Терещенко О.А., Лавицкий В.В.

Интеллектуальная система управления перевозочным процессом на Белорусской железной дороге

Перед Белорусской железной дорогой стоит ряд проблем, связанных с повышением собственной конкурентоспособности с целью уверенного функционирования и развития в составе мировой транспортной системы. Наблюдаемые тенденции интеграции на рынке транспортных услуг, перераспределения транспортных потоков, повышения скорости доставки грузов, увеличения перечня предоставляемых услуг требуют принятия решений, связанных с внедрением инновационных технологий и решений в перевозочной деятельности.

Концепцией Национальной стратегии устойчивого развития Республики Беларусь на период до 2035 года [3] на первом этапе в качестве приоритетного направления инновационного развития транспорта определено повышение уровня информатизации транспортных процессов путем внедрения интеллектуальных систем управления и мониторинга. Стратегией инновационного развития транспортного комплекса Республики Беларусь до 2030 года в качестве приоритетных направлений развития железнодорожного транспорта государства определены развитие единой системы планирования, координации и оперативного управления движением пассажирских и грузовых поездов, а также информатизация технологического процесса перевозки груза [6].

В связи с этим применение интеллектуальных технологий в системах управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте является естественным направлением научно-технического прогресса. Принятию управленческих решений в железнодорожных транспортных системах в основном сопутствуют сложные логические выводы, многофакторные инженерные расчеты и глубокий эвристический анализ, направленный на прогнозирование положительных и отрицательных последствий в результате реализации планируемых действий.

Белорусским государственным университетом транспорта по заказу ГО «Белорусская железная дорога» разработана концепция создания Интеллектуальной системы управления перевозочным процессом на Белорусской железной дороге (ИСУПП). Внедрение ИСУПП позволит оставаться в тренде мировых техно-

логий и проводимой на железнодорожном транспорте инновационной политики и направлено на повышение конкурентоспособности – ключевой задачи функционирования субъекта хозяйствования.

На Белорусской железной дороге для информационного обеспечения управления перевозочным процессом используется множество автоматизированных систем, которые условно можно разделить на три группы:

- формирование информации о нагрузке в перевозочном процессе (I);
- управление ресурсами (II);
- выработка управленческих решений по организации перевозочного процесса (III).

Основой для реализации ИСУПП на Белорусской железнодорожной дороге является действующая на сегодняшний день Информационная аналитическая система поддержки управленческих решений для грузовых перевозок (ИАС ПУР ГП). Она является составной частью Корпоративной информационной системы Белорусской железной дороги и эксплуатируется с 2011 года. ИАС ПУР ГП с использованием Internet-технологий комплексно обеспечивает процессы принятия обоснованных управленческих решений с целью повышения эффективности эксплуатационной деятельности.

В состав ИАС ПУР ГП входят подсистемы, обеспечивающие:

- концентрацию актуальной нормативно-справочной информации;
- сохранение истории грузовых перевозок;
- нормирование, оперативное планирование, регулирование и контроль поездной и грузовой работы;
- оценку эффективности эксплуатационной деятельности.

Основные подсистемы ИАС ПУР ГП функционируют в режиме реального времени. Они создают необходимые для решения организационных и управленческих задач модели перевозочного процесса: локомотивную, вагонную, поездную, контейнерную, отправоочную.

Таким образом, ИАС ПУР ГП динамично и адекватно отображает перевозочный процесс, что обеспечивает возможность практической реализации не-

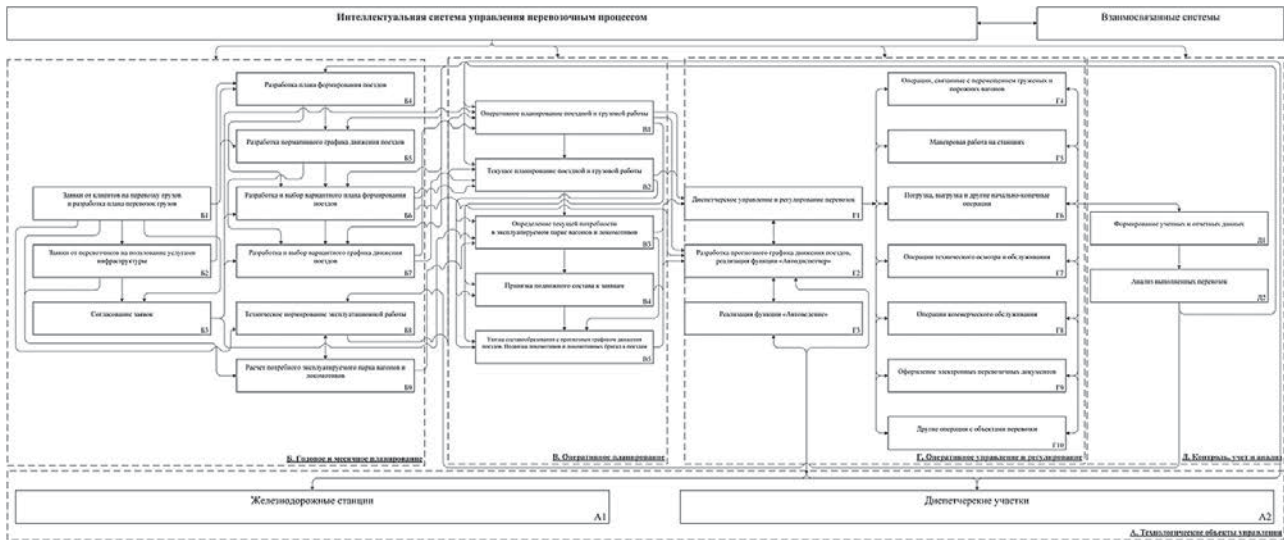


Рис.1. Структура ИСУПП Белорусской железной дороги

обходимых информационных технологий в процессе создания ИСУПП. Вместе с тем ИАС ПУР ГП позволяет реализовать только отдельные элементарные функции цикла управления (сбор информации, анализ, контроль) возлагая процедуры формирования, оценки и принятия управленческих решений полностью на человека. Наибольшие проблемы возникают при существенных отклонениях от заранее разработанных технологий (задержка пассажирского поезда, дефицит пропускной способности парка станции, недостаток порожних вагонов под погрузку и др.). Причиной этому служат заложенные в «традиционных» информационных технологиях, лежащих в основе ИАС ПУР ГП, архитектурные и функциональные недостатки:

- многообразие семантически эквивалентных форм (языков) представления (кодирования) обрабатываемой информации (знаний) в памяти вычислительных систем, что приводит к дублированию семантически эквивалентных информационных компонентов, а также к снижению эффективности применения методики компонентного проектирования компьютерных систем;
- низкая степень обучаемости современных компьютерных систем в ходе их эксплуатации, следствием чего является высокая трудоемкость их сопровождения и совершенствования, а также их недостаточно длительный жизненный цикл;
- отсутствие возможности у экспертов реально влиять на качество разрабатываемых компьютерных систем, что приводит к некоторому искажению функционала программного продукта за счет излишнего влияния системы взглядов причастных к разработке программистов.

Создание ИСУПП должно учитывать указанные аспекты и обеспечивать возможность автономного

функционирования своих подсистем. Также следует учитывать, что применяемые на Белорусской железной дороге информационные модели, обеспечивающие динамический учет состояния транспортных объектов и решение управленческих задач, создают неопределенность в системе управления перевозочным процессом за счет [1, 2]:

- качества исходной информации (содержательность, доступность, достаточность, репрезентативность, актуальность, своевременность, достоверность, точность, устойчивость), уровень которого не достаточен в силу масштаба и сложности управляемой системы;
- качества применяемых алгоритмов, в основе которых, как правило, для определения продолжительности выполнения операций перевозочного процесса лежат адаптированные способы суммирования эталонных параметров, что не позволяет учитывать нелинейные характеристики в системах массового обслуживания;
- уровня децентрализации (разобщенности) информационных моделей, предоставляющих выходную информацию с различной степенью детализации, точности, актуальности и др., и имеющих проблемы взаимной совместимости.

Реализация ИСУПП на Белорусской железной дороге предлагается в рамках структуры, представленной на рис. 1.

Важной характеристикой создаваемой ИСУПП является ее проактивное поведение. Предполагается, что система, имея полную ситуационную осведомленность об объекте управления, выдает конкретные решения диспетчерскому аппарату и контролирует их выполнение. Проактивное поведение требует рациональной децентрализации в принятии решений и декомпози-

ции системы, в которой каждый элемент обеспечивает высокий уровень самоорганизации. Функционирование элементов системы должно быть организовано с учетом достижения общесистемных целевых параметров, а локальное решение конфликтов или эскалация на верхний уровень управления, при невозможности решить самостоятельно, приводят к динамическому согласованному перепланированию между всеми элементами и подсистемами.

В ИСУПП должны формироваться управляющие решения в течение временных интервалов, соизмеримых со временем хода производственных процессов. На разных уровнях и элементах системы должны быть установлены временные границы реакции системы. Для систем реального масштаба времени, решение, полученное после истечения заданного временного отрезка, соответствует неправильному. Для решения данной задачи необходимо повышение оперативности и достоверности поступающей информации с помощью новых технологий, таких как техническое зрение, мобильные устройства, спутниковые и речевые технологии.

Реализация ИСУПП возможна только при разработке интегрированных технологий управления перевозочным процессом, которые обеспечиваются за счет создания единой технологии производственной деятельности подразделений железнодорожного транспорта, выраженной во взаимоувязанном наборе технологий по отдельным производственным функциям [5]. При этом создаваемая система призвана обеспечить контроль технологии, как в стратегическом плане, так и в части соблюдения дисциплины при выполнении технологических операций. В связи с этим, параллельно с созданием ИСУПП необходимо разрабатывать сквозные технологии управления производственными процессами, учитывающие специфику работы объектов железнодорожного транспорта различных уровней.

Интеллектуальную основу ИСУПП должно составлять адаптивное планирование и динамическое распределение ресурсов. Плановые задачи и выделяемые на их выполнение ресурсы должны корректироваться в режиме реального времени с учетом сложившейся обстановки. При решении таких задач, предполагается использование эвристических алгоритмов.

Одним из самых важных принципов работы ИСУПП, который позволяет говорить о реализации управляющей системы, является реализация цикла «план – действие – контроль – корректировка» в автоматическом режиме. Информационная модель системы должна адекватно отображать единый производственный процесс и своевременно формировать регулировочные (корректирующие) решения. Этот подход предполагает:

- решение всего комплекса задач на основе единой среды исполнения;
- централизованное ведение динамических объектных моделей (поездная, вагонная, локомотивная, бригадная) для всех уровней управления;
- агрегирование имеющихся на железнодорожном транспорте информационно-управляющих решений в единое информационное пространство.

Использование приведенных выше концептуальных подходов к созданию ИСУПП позволит сократить затраты и сроки на разработку функциональных подсистем, а также повысить полезность выходных решений системы.

Работы по созданию ИСУПП на Белорусской железной дороге уже начаты и ведутся в рамках проекта «Комплексная система управления поездной работой на Белорусской железной дороге» (КС УПР БЧ), в котором участвуют ученые и специалисты УО «Белорусский государственный университет транспорта», специалисты Конструкторско-технического центра Белорусской железной дороги (разработчик систем диспетчерской централизации и автоматизированного построения графика исполненного движения), Международного делового альянса IBA (разработчик ИАС ПУР ГП), РУП «Главный расчетный информационный центр Белорусской железной дороги» и другие.

Создание ИСУПП должно обеспечить формирование единого бизнес-процесса управления перевозками, обеспечивающего повышение эффективности перевозочной деятельности БЧ, а также уровня безопасности перевозок за счет использования информационно-коммуникационных и интеллектуальных технологий в системе управления эксплуатационной работой, позволяющих формировать с учетом накопленного массива опыта управляющие решения, управлять производственными процессами в реальном времени, планировать работу, моделировать и прогнозировать развитие эксплуатационной ситуации на полигоне управления. Для достижения поставленной цели предусматривается решение следующих задач [2, 4]:

- разработка функциональной архитектуры ИСУПП, обеспечивающей реализацию скоординированного комплексного управления эксплуатационной работой с использованием всеми участниками этой деятельности единой информационной модели, включающей базу данных, базу знаний и базу опыта;
- использование единой онтологии и процессно-объектных подходов при создании нового программного обеспечения, обеспечивающих решение всего комплекса эксплуатационных задач с учетом накопленного опыта действия оперативных работников, в том числе действий в нестандартных ситуациях;

- повышение достоверности используемой в ИСУПП информации за счет использования ГИС-технологий, дальнейшего развития транспортной информационно-коммуникационной инфраструктуры с использованием систем навигации, позиционирования транспортных объектов с учетом задач совершенствования организации перевозочной деятельности;
- трансформация технологических процессов путем расширения использования интеллектуальных систем управления, разработки адаптивных технологий работы, создания функционирующих в реальном масштабе времени информационно-аналитических моделей.

Так как ИСУПП является логическим этапом развития ИАС ПУР ГП, то не требуется отказ от действующих на Белорусской железной дороге информационных систем. При этом ИСУПП проектируется как единая информационная среда, обеспечивающая скоординированное комплексное управление эксплуатационной работой с использованием ее всеми участниками этой деятельности и требующая включения всех участников и объектов управления в единое информационно-коммуникационное пространство.

Таким образом, создание ИСУПП будет комплексно способствовать увеличению качества управления перевозочным процессом на фоне привлечения дополнительных грузопотоков и пассажиропотоков, и общего снижения эксплуатационных расходов.

Литература:

1. Ерофеев, А. А. Концептуальные подходы к созданию интеллектуальной системы управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте / А. А. Ерофеев // Информационные технологии и системы 2015 (ИТС 2015) : материалы Междунар. науч. конф. / редкол. : Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск : БГУИР, 2015. – С.44–45.
2. Ерофеев, А. А. Применение предметно-ориентированной ГИС для решения задач оперативного управления перевозочным процессом на Белорусской железной дороге / А. А. Ерофеев, В. Г. Кузнецов, В. Г. Козлов, Г. В. Глевицкий // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2018. – № 2 (37). – С. 50–56.
3. Концепция Национальной стратегии устойчивого развития Республики Беларусь на период до 2035 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.economy.gov.by/uploads/files/ObsugdaemNPA/Kontseptsija-na-sajt.pdf>. – Дата доступа: 19.09.2019.
4. Кузнецов, В. Г. Модель разработки заданий в суточном плане эксплуатационной работы Белорусской железной дороги / В. Г. Кузнецов, И. А. Войтехович, Т. В. Пильгун // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2010. – № 2 (21). – С. 51–56.
5. Меренков, А. О. Зарубежный опыт в области реализации интеллектуальных транспортных систем // Вестник университета (Государственный университет управления). – 2015. – № 7. С. 100–102.
6. Стратегия инновационного развития транспортного комплекса Республики Беларусь до 2030 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.rw.by/corporate/press_center/reportings_interview_article/2015/03/strategija_innovacionnogo_razv/. – Дата доступа: 18.09.2019.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Ерофеев Александр Александрович**
Гомель, УО «Белорусский государственный университет транспорта», проректор по научной работе, кандидат технических наук
alerof@tut.by
- **Терещенко Олег Анатольевич**
Гомель, УО «Белорусский государственный университет транспорта», старший преподаватель
i_am_@tut.by
- **Лавицкий Владимир Васильевич**
Минск, ГО «Белорусская железная дорога», заместитель начальника службы перевозок
vlrw@tut.by



УДК 656.2

Девятков В.В., Девятков Т.В., Назмеев М.М., Уманский В.И., Вдовин А.Н.

Оперативное управление поездопотоками на сети железных дорог России с использованием имитационной модели

Введение

Система управления движением пассажирских и грузовых поездов является одним из важнейших элементов интеллектуальной транспортной системы России. В целом, в ОАО «Российские железные дороги» (далее РЖД) создана достаточно мощная и информативная система мониторинга работы для всей сети железных дорог России. Автоматизированным способом создаются, и на регулярной основе обновляются, многочисленные базы данных этого мониторинга. Это позволяет достаточно точно оценить текущее состояние системы в целом: как функционирует сеть, как исполняются графики движения, где возникают «барьерные места», ограничивающие пропускную и провозную способность. Все это прекрасно, но руководителям и аналитикам РЖД необходимо знать не только текущее состояние сети, но и уметь прогнозировать ее будущее развитие.

Как и при функционировании любой сложной системы, при эксплуатации и развитии сети РЖД возникает множество вопросов. Например. Как поведет себя сеть при реализации тех или иных организационных и инфраструктурных изменений по устранению «барьерных мест»? А что будет, если поток поездов в том или ином направлении будет увеличен? Как повлияет на функционирование сети проведение в определенном месте и в заданное время ремонтных работ? Насколько быстро окупятся инвестиции по модернизации сети?

Программных инструментальных средств для прогнозирования комплексной системы организации и управления движением поездов в рамках сети РЖД в краткосрочной и долгосрочной перспективе (несколько часов, дней, недель, месяцев и т.д.) создано чрезвычайно мало. Чаще всего существующие инструменты либо представляют систему слишком укрупненно и, следовательно, с большими допущениями, либо они решают только локальные задачи (например, управление движением пассажирских поездов, моделирование грузовой работы отдельных станций, моделирование работы участков и направлений). А инструментов,

обеспечивающих комплексный прогноз грузового движения всей сети РЖД, даже на краткосрочный период, вообще нет. Если движение пассажирских поездов прогнозируемо и регулируется расписанием, то формирование, движение и расформирование грузовых поездов слабо формализуемо, не предсказуемо и носит по большей части стохастический характер. Объем грузовых перевозок и их возможные направления зависят от множества компаний и РЖД не управляет этим процессом. В связи с этим ежедневно диспетчера всех уровней сталкиваются с необходимостью проведения множества ручных расчетов при принятии оперативных решений о пропуске грузовых поездов. А это значительно осложняет их работу, результат расчетов не всегда оптимален, а иногда и ошибочен. Все это приводит к аритмии движения поездов, отклонения от расписаний, неравномерности загрузки участков и станций, а также к значительным экономическим издержкам.

Основные цели и задачи

Для повышения автоматизации работы диспетчеров и обеспечения эффективности функционирования сети, авторским коллективом была проведена разработка инструментального программного комплекса (далее комплекс), включающего имитационную модель и целый ряд аналитических и расчетных процедур, предназначенных для прогнозирования пропуска грузовых поездов по всем направлениям сети РЖД.

Целью создания комплекса является автоматизация формирования управляющих решений диспетчеров разных уровней в составе информационно-управляющей системы центра управления перевозками РЖД.

В качестве основных задач, планируемых к решению с помощью данного комплекса, можно выделить следующие задачи:

- Ввод исходных данных о сети РЖД и потоках поездов, получаемых из внешних источников (параметры инфраструктуры сети, «списки живых поездов» на момент обращения, списки стыковых

станций, статистика о времени хода на участках и времени нахождения поезда на станциях, статистика с историей маршрутов и т.д.).

- Оперативного ввода диспетчером варьируемых параметров и характеристик для проведения расчетов и моделирования.
- Предварительная обработка исходных данных для последующего использования в имитационной модели и в аналитических расчетах.
- Прокладка оптимальных (по времени, расстоянию или стоимости) маршрутов пропуска грузовых поездов по плану формирования – от станции текущей дислокации до станций назначения по расчетному графу сети железных дорог с привязкой поездов на нитки вариантного графика.
- Проведения прогнозных имитационных экспериментов функционирования сети при различных значениях исходных данных и параметров, полученных из статистики или выбранных диспетчером.
- Графическое представление построенных маршрутов, размеров движения, цепочек поездов и других результатов моделирования на электронной мнемосхеме сети железных дорог РЖД.
- Представления и сравнения, рассчитанных в модели вариантов пропуска поездопотока по направлениям, участкам и станциям сети – в табличной форме.
- Выявление «барьерных мест» с нехваткой пропускной способности для пропуска, существующего и прогнозного поездопотока, с учетом проведения текущих и планируемых «окон».
- Передачи выходной информации, сформированной комплексом по результатам аналитических расчетов и моделирования во внешнюю среду в форматах XML и Excel. Например, в подсистему ИУС ЦУП для формирования управляющих приказов о вариантах решения ситуаций, требующих диспетчерского вмешательства.

Детализация сети в комплексе

Сеть РЖД можно представить в виде ориентированного двунаправленного графа, где в качестве вершин выступают станции, а в качестве ребер участки. Полностью вся сеть это более несколько тысяч станций и десятки тысяч участков. И в этой сети может одновременно находится более десяти тысяч поездов, которые перемещаются в рамках сети, перевоза миллионы пассажиров и миллионы тонн грузов в год. Понятно, что в полном объеме это наисложнейшая система с десятками тысяч связей, сотнями тысяч событий, множеством алгоритмов управления движением. Следует отметить стохастическую природу многих параметров

этой системы, в частности, алгоритмов формирования грузопотока, времен формирования, хода, расформирования поездов, возникновения нештатных ситуаций. Учитывая все это, исследовать такую систему чисто аналитическими методами, с приемлемым уровнем адекватности, невозможно. Поэтому в качестве основного метода исследования было выбрано имитационное моделирование. Наряду с имитационным моделированием в программном комплексе используются и аналитические методы, например, алгоритмы Дейкстры и Форда для нахождения оптимального маршрута и близких к нему, от одной вершины графа до другой, различные алгоритмы обработки результатов мониторинга, алгоритмы обучения модели (времена хода, времена стоянки, маршруты и т.д.) по результатам обработки статистики.

Для снижения вычислительных затрат и учитывая, направленность данного комплекса на моделирование грузового движения, а также то, что для исследования отдельных станций и участков уже существуют детальные модели, в программном комплексе принят следующий уровень детализации:

- Размер узлов сети ограничен основными грузоперерабатывающими станциями, так как на большинстве станций сети не осуществляются работы по формированию и расформированию грузовых поездов. Всего в графе модели введено около четырехсот узлов (станций).
- Станция представляет собой статический объект с определенной путевой структурой, параметрами и характеристиками путей, которые учитываются при формировании, прибытии, стоянке, обработке и отправке поездов.
- Участки (ребра, соединяющие эти станции) являются укрупненными, содержащими внутри себя несколько конечных участков и промежуточных станций.
- События, связанные с прохождением промежуточных станций и конечных участков учитывается в параметрах используемой в модели статистики.
- В модели учитываются все типы поездов, которые курсируют в сети РЖД. Также реализованы алгоритмы приоритетного пропуска поездов различного типа.

Сеть РЖД в программном комплексе представлена в виде мнемосхемы. Пример мнемосхемы и результат выбора оптимального маршрутов приведены на рис. 1.

Пользователь программного комплекса имеет множество возможностей по работе с мнемосхемой – поиск необходимых станций, участков, просмотр их характеристик, изменение масштаба представления, управления слоями мнемосхемы и др. Мнемосхема является основным визуальным объектом при вводе и анализе исходных данных при аналитических расчетах и имитационном моделировании.



Рис. 1. Графическое представление сети РЖД в программном комплексе.

Технология имитационного исследования

Как уже говорилось, что основным методом исследования и прогнозирования поездопотока в сети РЖД является имитационная модель. На рис. 2 показаны основные типы данных и результатов моделирования, которые используются при для формирования модели и проведения с ней экспериментов.



Рис.2. Имитационная модель в виде «черного ящика».

Исходными данными для имитационной модели являются:

- Вариантный график движения поездов по сети.
- Актуальный план формирования грузовых поездов.

- Текущее состояние наличия и дислокации «живых поездов» на сети.
- Подход грузовых поездов с соседних администраций.
- Статистика формирования и расформирования грузовых поездов по сортировочным станциям.
- Статистика простоя транзитных грузовых поездов по техническим станциям с учетом категории поездов и направления движения.
- План погрузки на основных грузовых станциях сети, для прогноза отправления грузовых поездов со станций погрузки.
- Статистика отправления порожних маршрутов с портовых станций и основных станций выгрузки.
- Информация о текущих и планируемых «окнах».

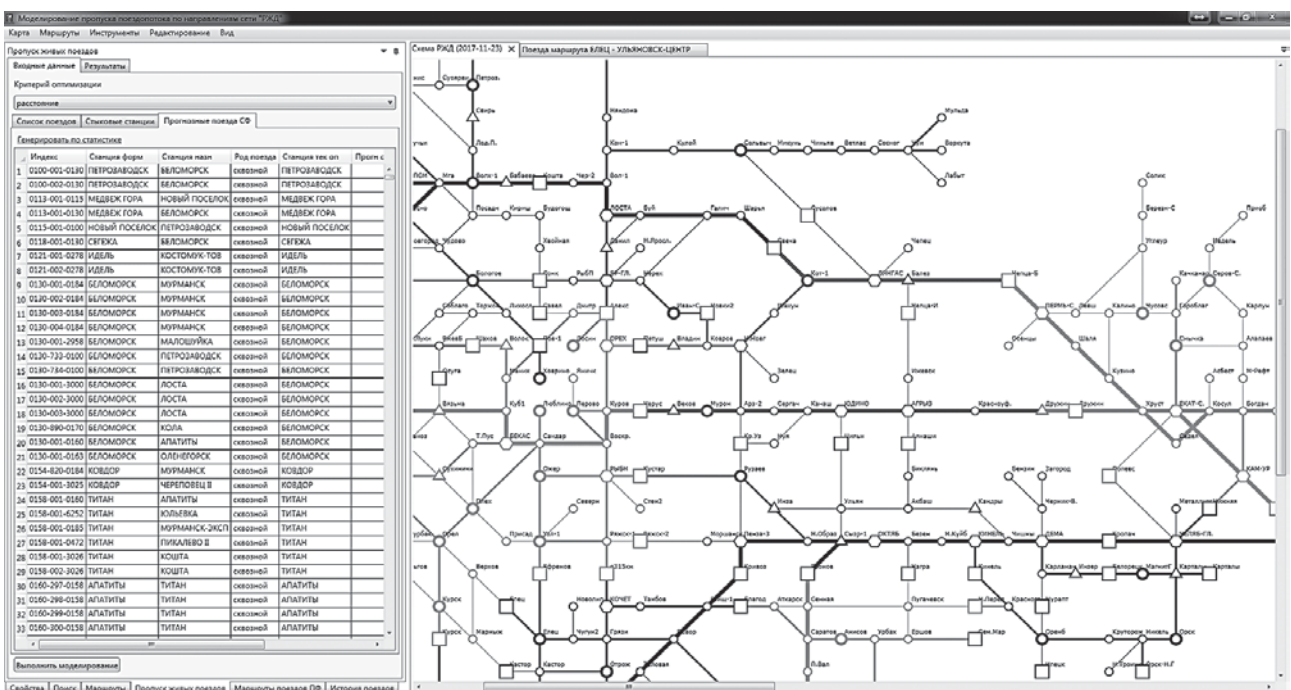


Рис.3. Формирование списка прогнозных поездов.

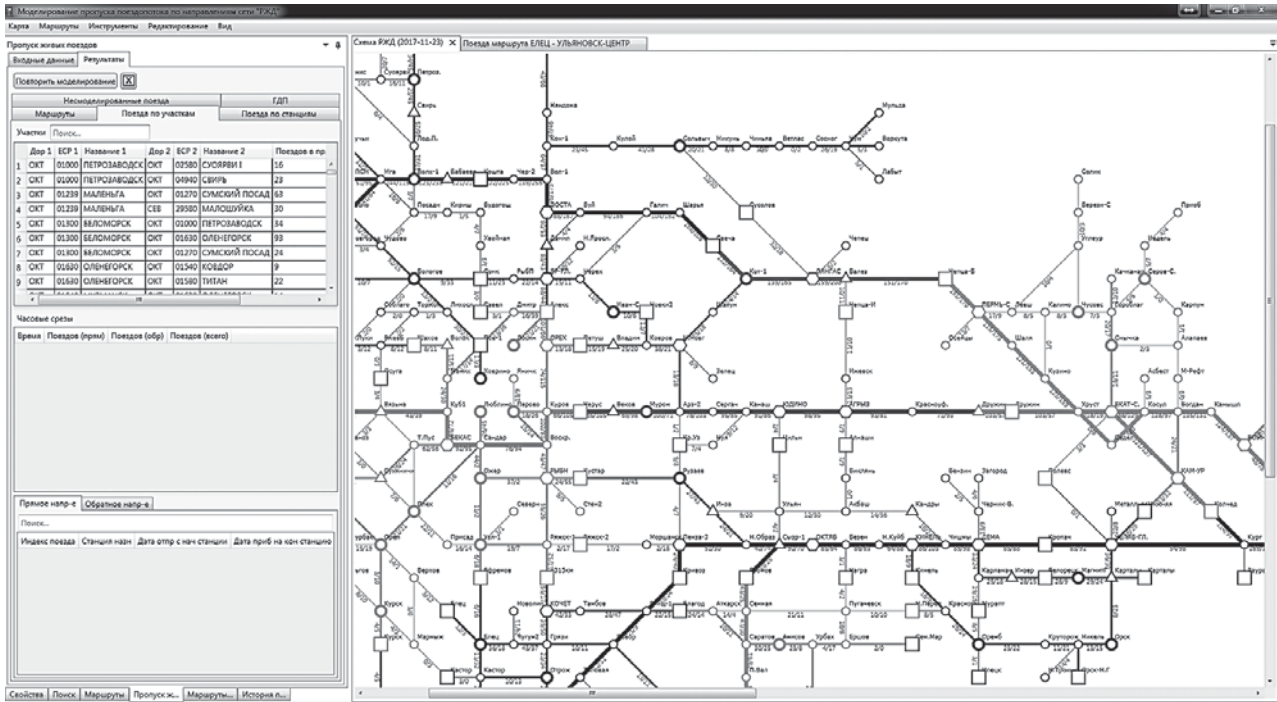


Рис.4. Размеры движения по участкам.

Обработка статистики и файлов мониторинга позволяет задать в модели адекватное значение времени хода по участкам, времени стоянки на станциях и ряда других параметров сети и «обучить» этому модель. Кроме этого обработка файла с данными о «живых поездах» позволяет абсолютно точно задать начальное состояние модели по количеству, местоположению и маршрутам поездов, имеющих в сети на момент обращения.

Более сложным и трудоемким является последующее обязательное дополнение модели поездами, которые будут формироваться в сети в течение всего периода моделирования. При этом необходимо было достичь максимального приближения к реально существующим процессам. Для этого в рамках комплекса были реализованы алгоритмы обработки статистики с историей движения поездов и «обучения» модели по результатам обработки – формирование списка прогнозных поездов, моменты формирования, маршрут следования и т.д.

Пример диалога пользователя по вводу и обработке данных приведен на рис. 3.

На основе заложенной разработчиком конфигурации сети и заранее определенных алгоритмов управления движением поездов, собранных и обработанных исходных данных, параметров сети, определенных пользователем – автоматически генерируется имитационная модель сети РЖД для проведения очередного эксперимента.

Далее, в процессе экспериментов с моделью обеспечивается прогнозное моделирование процесса пропуска поездопотоков:

- Формирование поездов на станциях сети и их движение в соответствии с заданными вариантами маршрутов.
- Прибытие и отправление поездов по станциям с учетом привязки к ниткам вариантного графика и категории поезда.

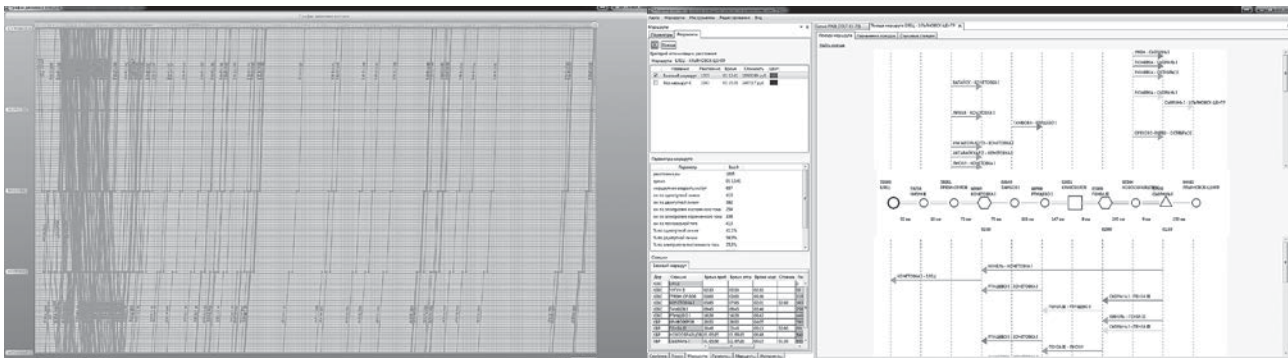


Рис.5. График движения по участку и поезда маршрута.

- Занятие участков в каждом направлении по фактическому или прогнозному расписанию, с учетом соблюдения межпоездного интервала и алгоритмов пропуска поездов в зависимости от их типа.

Интерфейс и представление результатов

По результатам моделирования выявляются участки, станции, периоды времени и лимитирующие поезда, на которых достигается превышение пропускной способности, нехватка ниток вариантного графика. Быстрая работа имитационной модели (не более минуты) позволяет осуществить расчет: различных стратегий по вариантам управляющих действий для лимитирующих поездов, изменение маршрута, отставление от движения, изменение станции назначения поезда и т.д. Пример отображения результатов моделирования приведен на рис. 4 и 5. Все перечисленные возможности комплекса позволяют оператору РЖД быстро принимать решения по управлению поездами в оперативном режиме. Комплекс находится в стадии завершения разработки.

Выводы

После ряда доработок и ввода в эксплуатацию, использование данного программного комплекса позволит диспетчерам просчитывать варианты изменения маршрутов поездов на различную глубину по времени, с предсказанием вероятных затруднений и задержек. Возможности, которые открываются перед аналитиками дорог, дают им возможность решать задачи, которые ранее выполнялись вручную.

Дальнейшее развитие данного программного инструмента, кроме совершенствования интерфейсов, уточнения исходных данных и алгоритмов управления, позволит решить и ряд новых задач. Например, управление и распределение по сети РЖД парка локомотивов и определение необходимой численности локомотивных бригад.

Литература:

1. С.А. Власов, В.В. Девятков, Т.В. Девятков, В.Л. Павлов, В.И. Уманский Разработка имитационной модели железнодорожного направления, входящей в состав СППР, на новых программно-методологических принципах / Техника и технология. – 2013. – №2 (55). – С. 19-22.
2. Имитационные исследования в среде моделирования GPSS STUDIO: учеб. пособие / В.В. Девятков, Т.В. Девятков, М.В. Федотов; под общ. ред. В.В. Девяткова. — М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2018. — 283 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Девятков В.В.**
Казань, ООО «Элина-Компьютер», директор
- **Девятков Т.В.**
Казань, ООО «Элина-Компьютер», заместитель директора
- **Назмеев М.М.**
Казань, ИПИ АН РТ, старший научный сотрудник, кандидат технических наук
- **Уманский Владимир Ильич**
Москва, АО «НИИАС», зам. Генерального директора, доктор технических наук
v.umanskiy@vniias.ru
- **Вдовин Алексей Николаевич**
Москва, АО «НИИАС», зам. начальника отдела центра проектирования объектов капитального строительства
a.vdovin@vniias.ru



УДК 656.052

Семенчук А.С., Куликов А.А., Былинович А.П., Насонова М.М.

Табло коллективного пользования как современный подход к отображению процессов управления тяговыми ресурсами

В 2016 году в рамках выполнения работ по созданию Центра управлением перевозками Восточного полигона (ЦУП ВП) был разработан и введен в опытную эксплуатацию единый интерфейс по отображению оперативной обстановки – табло коллективного пользования (ТКП), предоставляющий широкий функционал по расчету и визуализации подготовленных нормативных и фактических данных о состоянии всех объектов инфраструктуры в границах полигона.

Центр управления перевозками Восточного полигона – это мозг четырёх дорог. Отсюда координируют движение почти на трети страны – от Красноярска до Владивостока. Диспетчера ЦУП ВП управляют тяговыми ресурсами, вагонным парком, здесь же планируют проведение ремонта и модернизацию инфраструктуры магистрали.



Рис.1 Схема Восточного полигона

В ЦУП ВП организованы рабочие места диспетчерского аппарата, которые информационно – технологически взаимосвязаны между собой в процессе эксплуатационной работы. Информационным интерфейсом, обеспечивающим совместную деятельность диспетчеров дежурной смены, являются три табло коллективного пользования (Главное табло полигона и дополнительные для направлений БАМ и ТРАНС-СИБ), установленные в главном диспетчерском зале ЦУП ВП.



Рис.2 Рабочие места диспетчеров ЦУП ВП, использующих ТКП

Существующая реализация ТКП отображает текущую обстановку на Восточном полигоне, формируя консолидированную картину состояния подвижного состава и инфраструктуры полигона с точки зрения локомотивной, поездной, бригадной и вагонной моделей.

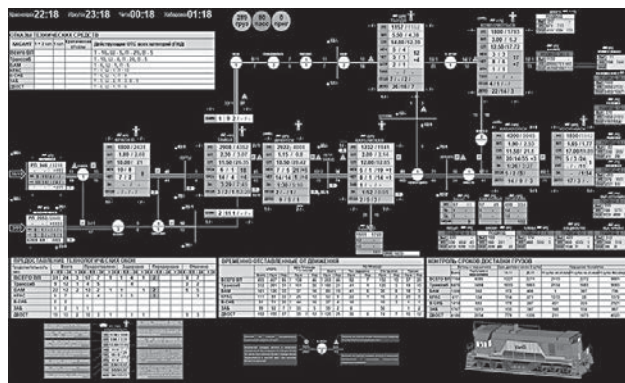


Рис.3 Отображение текущей обстановки на ТКП главного зала

Выполняется своевременная индикация о выполнении процесса автоматизированного управления тяговыми ресурсами.



Рис.4 Индикация выполнения процесса автоматизированного управления тяговыми ресурсами

ТКП также служит своевременным информатором о возникающих затруднениях в эксплуатационной работе полигона, взаимодействии с логистическим центром и подводу к портам, организации движения поездов в границах Красноярской, Восточно-Сибирской, Забайкальской и Дальневосточной железных дорог, и применяется для оперативного регулирования поездопотоков и тяговых ресурсов.

Рис.5 Индикаторы основных показателей работы ВП

Преимуществом реализованного в данной разработке подхода является корректно выстроенная информационная «горизонталь» взаимодействия смежных служб – центральной дирекции управления движением (ЦД), центральной дирекции управления тяги (ЦТ), АО «Трансмашхолдинг», центральной дирекции инфраструктуры (ЦДИ) – в части принятия консолидированных решений при получении актуальной информации о состоянии и динамике перевозочного процесса из единого интерфейса (ТКП) интеллектуальной системы управления железнодорожным транспортом (ИСУЖТ).

В 2019 году программное обеспечение табло коллективного пользования введено в постоянную эксплуатацию в ЦУП ВП.

В настоящее время центр управления перевозками полностью замкнул на себя функции организации планирования и предоставления «ремонтных окон», разработки графика движения и плана формирования поездов.

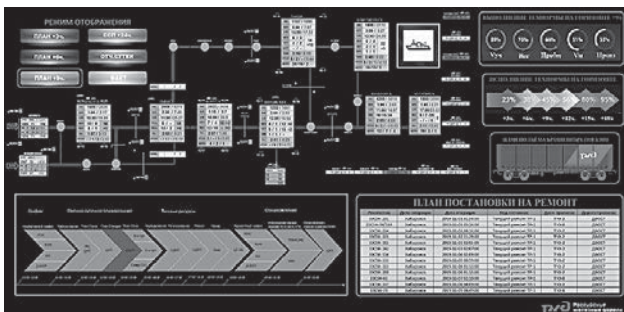


Рис.6 Макет одного из вариантов нового интерфейса ТКП

Незаменимым «помощником» в работе центра является управляющая система ИСУЖТ, с полностью автоматизированным циклом планирования и контроля

выполнения технологического процесса. Роль единого интерфейса к оперативной информации ИСУЖТ выполняет ТКП.

ТКП является динамично развивающимся программным решением, и в перспективе АО «НИИАС» предложит заказчику целый ряд новых функциональных возможностей.

В результате перспективного функционального развития, новая реализация ТКП позволит выбирать различные режимы отображения информации, с уникальными технологическими особенностями каждого режима.

Режимы ориентированы на отображение следующих результатов:

- Текущее планирование (с установленным временным интервалом +3ч.)
- Сменно суточное планирование (горизонт +24ч.)
- Факт – отображение текущей оперативной обстановки
- Отчетные сутки – состояние полигона на отчетный час (18:00 МСК)
- Выполнение комплексной технологии

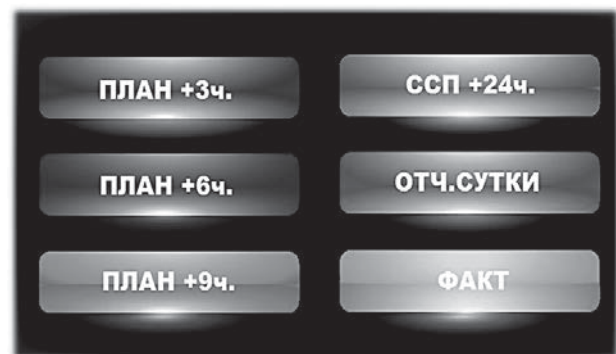


Рис.7 Макет интерфейса переключателей режимов отображения

Режим оперативного контроля выполнения комплексной технологии позволит «точно» определить нарушителя процесса, и поможет оперативно принять меры по устранению возникших нарушений.

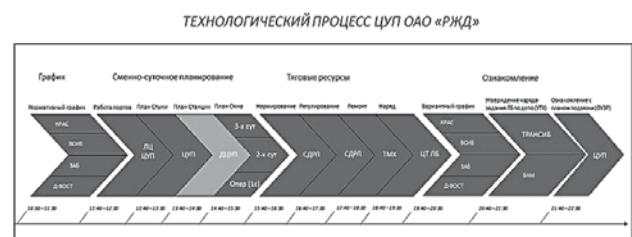


Рис.8 Макет отображения сквозного технологического процесса в виде последовательного набора индикаторов

Выбор режима «Планирования» откроет пользователю доступ к отображению объектных и количественных показателей работы полигона с возможностью анализа выполнения «составленного плана» на горизонте времени.

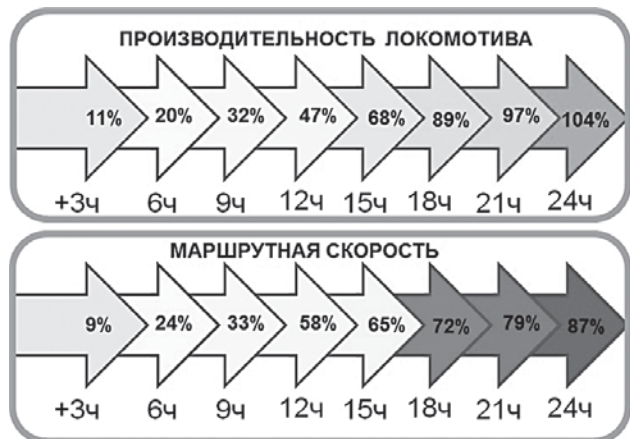


Рис.9 Макет отображения перспективного изменения показателей работы полигона

Достоинствами данного подхода к отображению будут являться:

- изменение «культуры» управления (прогнозирование, работа на опережение)
- коллективная возможность «заглянуть в будущее»
- наличие альтернативы в принятии решений
- снижение влияния человеческого фактора

В заключение необходимо отметить следующее – важным аргументом в принятии решения является возможность спланировать варианты развития четко обозначенных сценариев.

Табло коллективного пользования позволит представлять деятельность дорог и полигонов как набор взаимосвязанных бизнес-процессов, направленных на получение конкретных результатов.

При этом эффективность процесса управления перевозками может быть обеспечена только обязательным выполнением текущих и сменно суточных планов работы, сформированных в ИСУЖТ.

В рамках работ по функциональному развитию ТКП на Восточном полигоне на 2020 г. запланирована реализация отображения результатов полного цикла комплексного сменно-суточного и текущего планирования.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Семенчук Аким Сергеевич**
Москва, АО «НИИАС»,
начальник отдела комплексных решений линейного уровня
a.semenchuk@vniias.ru
- **Куликов Александр Анатольевич**
Москва, АО «НИИАС»,
главный специалист отдела функциональных решений
a.kulikov@vniias.ru
- **Былинович Александр Павлович**
Москва, АО «НИИАС»,
главный специалист отдела функциональных решений
a.bylinovich@vniias.ru
- **Насонова Мария Михайловна**
Москва, АО «НИИАС»,
главный специалист отдела интеграционного тестирования
m.nasonova@vniias.ru



УДК 656.223.2

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

Развитие задач «Имитационной ресурсной модели использования инфраструктуры ОАО «РЖД» (АС ПРОГРЕСС)» в рамках сквозного производственного планирования

С целью совершенствования системы бюджетного управления и планирования объемных и качественных показателей работы ОАО «РЖД», в том числе с использованием предиктивной бизнес-модели железнодорожных перевозок, ОАО «РЖД» в октябре 2018 года внесло существенные корректировки в регламент сквозного производственного планирования. Изменения коснулись как реализуемых процессов, их сроков, так и состава участников.

На АО «ИЭРТ» в рамках процесса сквозного производственного планирования возложены функции предоставления данных о предварительных возможностях инфраструктуры по освоению прогнозных объемов перевозок на предстоящий период (месяц, квартал, год) и расчет ожидаемых параметров производственно-экономических показателей с использованием подсистемы Предиктивная бизнес-модель железнодорожных перевозок, входящей в состав Автоматизированной системы прогноза ресурсов сети ОАО «РЖД» (АС ПРОГРЕСС) (рис. 1).

И. Сегодня предиктивная бизнес-модель железнодорожных перевозок ОАО «РЖД» является постоянным инструментом, используемым в Компании в процессе ежемесячного, квартального и годового планирования производственно-экономических показателей. Предик-

тивная бизнес-модель используется, помимо ежемесячного планирования, и для верификации расчетов на среднесрочный период, применяемые причастными подразделениями при разработке бюджетных параметров.

Кроме того, реализуется выполнение ежемесячных вариантных расчетов не только планируемых производственных показателей, но и ожидаемых результатов, а также производится сравнение фактических параметров с плановыми, выявляются основные факторы отклонений и определяются мероприятия по дальнейшей доработке системы.

В рамках предиктивной бизнес-модели автоматизированы элементы процесса сквозного планирования деятельности ОАО «РЖД» в части оценки загрузки сети железных дорог на среднесрочную перспективу (определение загрузки участков и станций прогнозными вагоно- и поездопотоками, расчет передачи поездов и вагонов по междорожным и межгосударственным стыковым пунктам), расчет потребности локомотивного парка, необходимого для освоения прогнозных объемов перевозок, расчет объемных (грузооборот тарифный, эксплуатационный, тонно-километры брутто) и качественных (производительность локомотива рабочего парка, участковая скорость, средняя масса брутто грузового поезда) показателей (рис. 2).



Рис.1. Взаимодействие участников



Рис.2. Последовательность расчета в предиктивной бизнес-модели

В 2019 году выполняются работы, связанные с взаимодействием КАСУДР-И и АС ПРОГРЕСС, расчетами прогнозной динамики изменения перевозочной мощности с учетом ввода объектов в эксплуатацию и работ по ремонту инфраструктуры, выработки рекомендаций по эффективному направлению (распределению) прогнозных вагонопотоков с учетом допустимых уровней использования перспективной пропускной способности инфраструктуры (рис. 3).

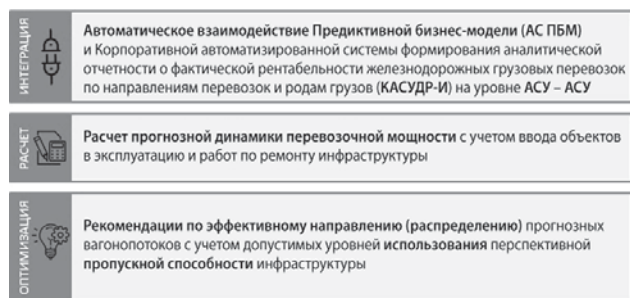


Рис.3. Задачи развития в 2019 году

II. Формирование предварительных возможностей инфраструктуры ОАО «РЖД» должно выполняться на основе актуальных данных о пропускных способностях участков с учетом плана проведения ремонтно-путевых работ. В этой связи в АС ПРОГРЕСС, в рамках Программы информатизации ОАО «РЖД» 2019 года, реализован соответствующий функционал, позволяющий выполнять поставленную задачу.

Постановка задачи: требуется по каждому стыковому пункту (междорожному и межгосударственному) определить на предстоящий период технологически допустимые размеры передачи поездов и вагонов с учетом нормативной пропускной способности и плана проведения «окон» для выполнения ремонтов инфраструктуры, ее модернизации и строительства.

Допущения: средний состав поезда, передаваемого через стыковой пункт, определяется на основе статистических данных отчета формы ДО-1.

Исходные данные: период прогнозирования возможностей инфраструктуры; результирующая пропускная способность перегонов сети, графиковые размеры движения, месячный план проведения «окон» и/или директивный (годовой) план-график выполнения

«окон»; для каждого окна дата проведения, продолжительность и размеры движения по вариантному графику движения поездов (для директивного плана-графика) и продолжительность (для месячного плана проведения «окон»), величина среднего состава поезда, передаваемого по каждому стыковому пункту.

Алгоритм решения задачи:

1. Для каждого стыкового пункта на основе топологии полигона, структуры и мощности поездопотоков, анализа исполненных «окон» и числа фактически переданных по стыковому пункту поездов определяются границы зон влияния проведения ремонтно-путевых работ на пропускную способность, уточняемые с учётом производственного опыта и экспертных оценок.
2. Каждая зона влияния представляется в виде направленной последовательности перегонов с исходными характеристиками (результатирующая пропускная способность, размеры движения по графику, направление движения).
3. Для каждого перегона строится календарь проведения «окон», с указанием продолжительности и размеров движения по вариантному графику;
4. Для каждой даты в календаре определяются технологически допустимые размеры движения по условию:

$$n_{техн_дон} = \begin{cases} n_{ГДП}, & \text{если } T_{ок} = 0; \\ n_{ВАР_ГДП}, & \text{если } T_{ок} \neq 0 \text{ и } n_{ВАР_ГДП} \neq 0; \\ n_{ГДП} - \frac{\psi \cdot T_{ок} \cdot n_{ГДП}}{24}, & \text{если } T_{ок} \neq 0 \text{ и } n_{ВАР_ГДП} = \emptyset. \end{cases} \quad (1)$$

где $T_{ок}$ – продолжительность «окна», ч;

$n_{ГДП}$ – размеры движения грузовых поездов по нормативному графику движения, поездов;

$n_{ВАР_ГДП}$ – размеры движения поездов по вариантному графику, поездов;

ψ – коэффициент, зависящий от технической вооруженности участка и технологии пропуска поездов;

24 – число часов в сутках.

5. На основе посуточных данных о технологически допустимых размерах движения грузовых поездов по перегону определяется средневзвешенное за месяц технологически допустимое число поездов по формуле

$$n_{техн_дон}^{cp_M} = \frac{\sum_{i=1}^M n_{техн_дон}}{T_M}, \quad (2)$$

где T_M – число дней в месяце.

6. Определив для каждого перегона, входящего в зону влияния средневзвешенное за месяц технологически допустимое число поездов ($n_{техн_дон}^{cp_M}$), определяем возможные технологически допустимые размеры передачи поездов по формуле

$$n_{техн_доп_стк} = \min \{ n_{техн_доп_1}^{ср_м}; \dots; n_{техн_доп_Т_m}^{ср_м} \}. \quad (3)$$

7. Возможные технологически допустимые размеры передачи вагонов через стыковой пункт определяются по формуле

$$N_{техн_доп_стк} = n_{техн_доп_стк} \cdot m_{ДО-1} \quad (4)$$

где $m_{ДО-1}$ – средний состав передаваемого поезда, рассчитанный на основе отчета формы ДО-1.

При этом круглосуточные закрытия на главных путях перегонов обрабатываются общим порядком, то есть расчет выполняется по формуле (1).

Размеры движения в «разъездные» дни принимаются на уровне графиковых параметров, с учетом возможностей технических станций и тяговых ресурсов.

Пример результатов расчета представлен на рис. 4.

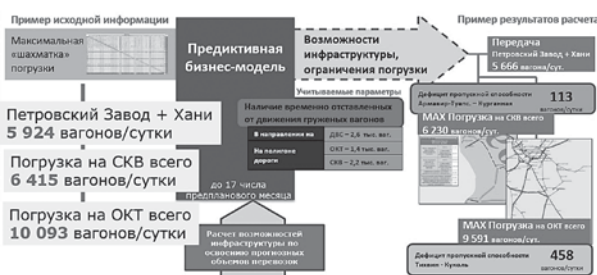


Рис.4. Пример результатов расчета предварительных возможностей инфраструктуры

III. Расчет ожидаемых параметров производственно-экономических показателей выполняется на месяц, квартал, год.

Расчеты сводятся к определению прогнозной (то есть наиболее вероятной) величины качественных показателей использования тягового подвижного состава (производительность локомотива, участковая скорость, средняя масса поезда брутто) и потребности локомотивного парка для освоения планового объема перевозок.

Расчет требуемого рабочего и эксплуатируемого парка локомотивов грузового движения реализован в соответствии с «Методикой месячного нормирования парка локомотивов грузового движения», утвержденной Центральной дирекцией управления движением – филиалом ОАО «РЖД» 29.12.2012.

При месячном нормировании парка локомотивов грузового движения учитывается:

- внутримесячная (суточная) неравномерность грузового движения в планируемом периоде;
- влияние на коэффициент потребности посуточных колебаний планируемых на месяц размеров грузового и пассажирского движения, а также предоставление «окон» для выполнения ремонтно-путевых работ;
- влияние на участковую скорость движения поездов уровня надежности работы технических устройств и подвижного состава ϕ' , уровня технологической надежности ϕ'' ;

- влияние числа локомотивов, оборудованных системой многих единиц (СМЕ), на продолжительность их нахождения в пункте оборота;
- технология поездной работы;
- тяговое обслуживание грузового состава поезда;
- влияние организации обслуживания поездных формирований собственников частными локомотивами.

При прогнозировании эксплуатационной работы на предстоящий период определяются следующие показатели использования локомотивов в грузовом движении:

- среднесуточная производительность локомотива рабочего парка (в тонно-километрах брутто);
- средняя масса поезда брутто (в тоннах);
- среднесуточный пробег локомотива рабочего парка (в километрах в сутки);
- средняя участковая скорость движения поезда (в километрах в час).

Среднесуточная производительность локомотива рабочего парка грузового движения $W_{рп}$ показывает эффективность его использования и определяется как количество тонно-километров брутто, приходящееся в среднем в сутки за отчетный период на 1 локомотиво-сутки рабочего парка

$$W_{рп} = \frac{\sum pl}{M_{рп}}, \quad (5)$$

где $\sum pl$ – тонно-километры брутто в грузовом движении, включая вывозные и передаточные поезда и тонно-километры брутто, выполненные одиночно следующими локомотивами;

$M_{рп}$ – рабочий парк локомотивов, занятых в грузовом движении, локомотиво-сутки. При предоставлении «окон» для производства ремонтно-путевых работ возрастает потребность в парке локомотивов для освоения размеров движения на участке обращения из-за дополнительного нахождения локомотивов с поездами, а также их простоев в конечных пунктах оборота. В сутки предоставления «окон» значения коэффициентов потребности локомотивов на пару поездов увеличиваются.

Средняя масса грузового поезда брутто $Q_{бр}$ показывает среднее количество тонн груза в поезде на всем пути следования с учетом тары подвижного состава:

$$Q_{бр} = \frac{\sum pl}{\sum MS_{гл}}, \quad (6)$$

где $\sum MS_{гл}$ – локомотиво-километры во главе поездов.

Среднесуточный пробег локомотива рабочего парка $S_{рп}$ показывает число километров линейного пробега, приходящееся в среднем в сутки за отчетный период на 1 локомотив рабочего парка:

$$S_{рп} = \frac{\sum ML_{лин}}{M_{рп}}, \quad (7)$$

где $\sum ML_{\text{лин}}$ – линейный пробег локомотивов (в го-
лове поездов, вторых локомотивов, работающих по
системе многих единиц, в двойной тяге и одиночном
следованиях), локомотиво-км.

Средняя участковая скорость движения поезда $V_{\text{уч}}$
показывает среднее расстояние, проходимое поездом
за 1 час по участку с учетом стоянок на промежуточ-
ных станциях, и определяется по формуле:

$$V_{\text{уч}} = \frac{\sum nl}{\sum nt}, \quad (8)$$

где $\sum nl$ – поезд-км грузовых поездов на участке;
 $\sum nt$ – поезд-часы грузовых поездов на участке, вклю-
чая поезд-часы задержек поездов по неприему техни-
ческими станциями в случае превышения технически
допустимых размеров их работы.

При прогнозировании участковой скорости по
каждому участку работы локомотивных бригад учи-
тывается:

- заполнение графиковых размеров движения
плановыми;
- нормативные коэффициенты влияния уровня
технической надежности и технологических от-
казов;
- параметр, характеризующий изменение на од-
нопутных линиях коэффициента потребности
локомотивов на одну пару поездов при умень-
шении размеров грузового движения по сравне-
нию с графиковыми;
- план предоставления «окон» для ремонта и мо-
дернизации инфраструктуры;
- статистические данные о выполнении участко-
вой скорости в предплановых периодах.

В АС ПРОГРЕСС реализовано два режима расчета
производственно-экономических показателей: норма-
тивный (использование графиковых параметров участ-
ковых скоростей, приказов по нормам массы и длины
поездов и т.д.) и статистический (с использованием от-
четных статистических величин производственно-эко-
номических показателей и их выполнения в различных
эксплуатационных условиях). Это позволяет определить
диапазон сценарных вариантных расчетов, позволяю-
щих достичь баланса интересов производственного бло-
ка (ЦД и ЦТ) и экономического блока Компании.

IV. В процессе моделирования эксплуатационной
работы сети железных дорог ОАО «РЖД» возникают
ситуации, когда прогнозный поездопоток превышает
значение технически допустимых размеров движения
как по участкам сети, так и по стыковым пунктам.
Для решения данной задачи применяются оптимиза-
ционные мероприятия, направленные на перераспре-
деления поездопотока на параллельные направления
(направление кружностью). В настоящее время реа-
лизован функционал, позволяющий облегчить лицу,

принимающему решение, поиск альтернативного пути
следования конкретного поездопотока.

Постановка задачи: требуется для каждого из на-
значений плана формирования грузовых поездов и
маршрутных назначений рассчитать альтернативные
пути следования на основе базы отчетных данных.

Исходные данные: перечень назначений плана фор-
мирования грузовых поездов и маршрутных назначе-
ний; статистические данные о выполнении поездных
операций из АСУОП.

Алгоритм решения задачи:

1. Определяется перечень назначений плана форми-
рования грузовых поездов;
2. Определяется перечень маршрутных назначений.
3. Производится обработка поездных операций по
каждому поезду, проследовавшему по сети желез-
ных дорог, в части определения перечня между-
рожных стыковых пунктов.
4. Формируется для каждого назначения плана фор-
мирования грузовых поездов и маршрутных назна-
чений перечень статистических путей следования
с указанием количества проследований данным
маршрутом.
5. На стадии оптимизации перераспределения поез-
допотока на параллельные направления пользова-
телю предоставляется информация об альтернатив-
ных путях следования и частоте их использования.
6. Для облегчения восприятия информации представ-
ляется не более пяти вариантов проследования.

В условиях наличия средств на строительство и
ремонт инфраструктуры, необходимости выполнения
обязательств по перевозке грузов и выполнения плана
по доходам стоит задача сбалансированного опреде-
ления соотношения объемов грузов, принимаемых к
перевозке, и объемов выполняемых ремонтов инфра-
структуры.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Панин Виталий Владимирович**
Москва, АО «ИЭРТ»,
и.о. зам. генерального директора,
кандидат технических наук
panin_v_v@mail.ru
- **Лаханкин Евгений Александрович**
Москва, АО «ИЭРТ»,
зам. заведующего отделением
эксплуатации железных дорог
и взаимодействия транспортных систем
lakhankin.e.a@gmail.com
- **Пояркова Марина Аркадьевна**
Москва, АО «ИЭРТ»,
старший научный сотрудник отделения
эксплуатации железных дорог
и взаимодействия транспортных систем
maroyarkova@yandex.ru

УДК 656.222

Дмитриев Е.О.

Принципы построения гибридного модельного комплекса для исследования вариантных технологических режимов эксплуатационной работы

Прогнозируемые долгосрочные ограничения пропускной и перерабатывающей способности полигонов характеризуются определенными параметрами составляющих эксплуатационной работы, которые формируют условия для разработки вариантных технологических режимов [1]. Для исследования вариантных технологических режимов эксплуатационной работы на различных уровнях организации эксплуатационной работы (станция, участок, дорога или полигон) предлагается использование гибридного модельного комплекса, состоящего из двух подсистем – определение зависимостей расчётных величин и прогнозирование ресурсов по вариантам.

Получение значений расчётных параметров систем высокой сложности (станция, участок или полигон), где взаимодействие элементов связано множеством функций ряда переменных, которые возникают при взаимосвязи проходящих потоков и структуры сети, с помощью аналитических методов получить затруднительно [2]. Поэтому основным инструментом решения подобных задач становится использование имитационных систем моделирования. Вопрос приоритетности применения аналитического и имитационного методов при решении эксплуатационных задач изучен в работе [3], где как более перспективный подход, сочетающий в себе преимущества аналитических и имитационных моделей и нивелирующий их недостатки, рассмотрен комбинированный метод расчёта. В работе [3] рассмотрены уравнения перехода управляемой системы от исходного состояния к результирующему (планируемому) состоянию в разные периоды развития эксплуатационной науки и информационных систем, где к наиболее эффективным методам отнесены расчеты на имитационной модели полигона и оптимизационные расчеты. Вместе с тем, необходимость ввода значительного количества исходной информации и обработки значительного объёма выходных данных инженером-технологом требует повышения эффективности этого процесса, и поэтому разработка принципов построения гибридных математических моделей, облегчающих работу с имитационными системами, актуальна.

Целью разработки принципов построения гибридного модельного комплекса является исследование вариантных технологических режимов эксплуатационной работы полигонов железнодорожной сети. Для достижения данной цели решаются задачи определения зависимостей расчётных величин структурных элементов полигонов и сравнения ключевых параметров работы полигонов и характеристик взаимодействия элементов при вариантных технологических режимах. В рамках гибридного модельного комплекса компоненты анализа статистики и прогнозирования обеспечивают расчет динамики и структуры транспортных потоков, сетевые потоковые модели – распределение этих потоков, имитационные модели – показатели работы полигонов сети [7]. Имитационное моделирование осуществляется на двух уровнях: на моделях отдельных элементов инфраструктуры [5] исследуются характеристики их функционирования с определением функциональных зависимостей, а на моделях полигонов [6] – характеристики взаимодействия элементов для дальнейшего сравнения вариантов технологии работы полигона в рамках вариантных технологических режимов. Возможность применения данного подхода рассмотрена в работе [7].

Основными инструментами для построения гибридного модельного комплекса являются «Система макро моделирования узлов и полигонов» (ИМЕТРА) [4] и «Система прогнозирования ресурсов сети ОАО «РЖД» (АС ПРОГРЕСС) [6]. ИМЕТРА позволяет определить зависимости между характеристиками рассматриваемой системы для нахождения необходимых коэффициентов (например, съём ниток грузовых поездов «окнами» при разных конфигурациях графика движения поездов (ГДП), форсированные режимы пропуска поездов на существующей инфраструктуре, участковые скорости, задержки, управление очередями). АС ПРОГРЕСС позволяет на основе зависимостей, определенных с помощью системы ИМЕТРА задавать значения, определяющие параметры работы полигонов в вариантных технологических режимах (параметры плана формирования грузовых поездов (ПФП) и отклонения грузовых поездов, парк локо-

мотивов, участки обращения локомотивов (УОЛ) и участки работы локомотивных бригад (УРЛБ), пропускная и перерабатывающая способность станций), подлежащих сравнению по вариантам технологии с использованием сетевой модели.

Разработка вариантного технологического режима работы полигона в условиях действия длительного ограничения (до нескольких суток) начинается с определения продолжительности действия ограничения и места его действия (перегон, участок или железнодорожная техническая станция). Для модели ограничивающего элемента (Могр) задаются основные технические и технологические параметры: число главных путей (Gгл(i,j)); средства сигнализации и связи (Gсцб(i,j)); вид тяги (Gтяг(i,j)); нормы массы и длины грузовых поездов (Gмас(i,j) и Gдлин(i,j)); продолжительность технологических «окон» (Ток(i,j,d)); размеры пассажирского движения (Nпасс(i,j,d)), сохраняемых на участке; объемы движения местных поездов на участке (Nмест(i,j,d)) (1). Определение размеров грузового движения по категориям производится на основе сохраняющейся результирующей способности участка в условиях ограничения, с учетом принимаемой технологии работы в период ограничения (2).

$$M_{огр} = \{ G_{гл(i,j)}; G_{сцб(i,j)}; G_{тяг(i,j)}; G_{мас(i,j)}; G_{длин(i,j)}; T_{ок(i,j,d)}; N_{пасс(i,j,d)}; N_{мест(i,j,d)} \}, \quad (1)$$

$$N_{груз(i,j,d)} = N_{нал(i,j,d)} - N_{сним(i,j,d)} \Leftrightarrow \Leftrightarrow \sum (N_{груз(i,j,l,d)} \epsilon_l; \dots; N_{груз(i,j,k,d)} \epsilon_k), \quad (2)$$

где i, j – номера технических станций, ограничивающих участков;
 d – продолжительность действия ограничения;
 k – категории грузовых поездов;
 ϵ_k – коэффициент съема категории (k) грузовых поездов.

На основе определённой величины отклонения грузовых ($N_{откл\ груз(i,j,d)}$) и пассажирских поездов ($N_{откл\ пасс(i,j,d)}$) выполняется решение задачи по распределению данного потока на сети неориентированного графа прилегающих участков (см. рис. 1). Распределение потока производится посредством гибридного имитационного комплекса, где последовательно производятся расчёты показателей различных вариантов переключения потоков. Модель в системе ИМЕТРА (M_1) можно представить в виде вектор-функций одной скалярной переменной (3).

$$M_{1,m} = \{ R_{бунк}(n); R_{соед}(l) \Rightarrow R_{пер}(t); R_{б.пер}(t) \}, \forall m, M_1(m), \quad (3)$$

где m – подвариант модели;

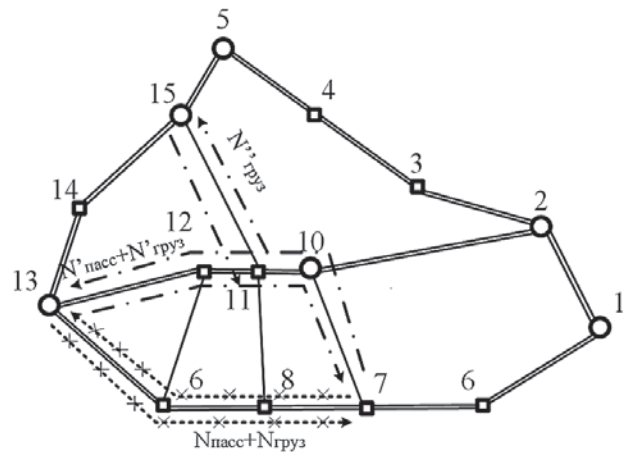
$R_{бунк}(n)$ – парк железнодорожной станции, представленный бункером (n), характеризующийся

рядом параметров, представляемых в виде вектор-функции;

$R_{соед}(l)$ – соединения бункеров между собой (перегон, соединительные пути);

$R_{пер}(t)$ – операция технологической цепочки в модели с перемещением описываемая вектор-функций одной скалярной переменной;

$R_{б.пер}(t)$ – операция технологической цепочки в модели без перемещения.



Условные обозначения:

- - однопутный участок;
- == - двухпутный участок;
- - сортировочная станция;
- - участковая станция;
- ←-- - снимаемый (отклоняемый) поездопоток;
- · · - дополнительный поездопоток.

Рис.1. Неориентированный граф полигона с отклоняемым поездопоток

С помощью модели для конкретных условий работы участков и их конфигурации, также описываемых (1), возможно решать практические задачи по построению ранее указанных функциональных зависимостей. На основе рассматриваемого графа (см. рис. 1) для участка 13-12-11-10 выполнено построение зависимости (4), (рис. 2) для возможных конфигураций размеров грузового и пассажирского движения на участке (допустимых наличной пропускной способностью участка). Данные зависимости используются при разработке вариантов модели M_2 посредством АС ПРОГРЕСС.

$$V_{уч}(pas, gr; m) = \sum N_1(m) / \sum N_{уч}(m), \forall m, M_1(m), \quad (4)$$

где $\sum N_1(m)$ – поездо-километры пробега грузовых поездов в подварианте (m) модели (M_1) для размеров движения грузовых (gr) и пассажирских (pas) поездов;

$\sum N_{уч}(m)$ – поездо-часы грузовых поездов движения по участку.

Модель полигона сети в АС ПРОГРЕСС (M_2), согласно [6], включает в себя «совокупность взаимосвязанных сетевых моделей, описывающих: сеть перегонов

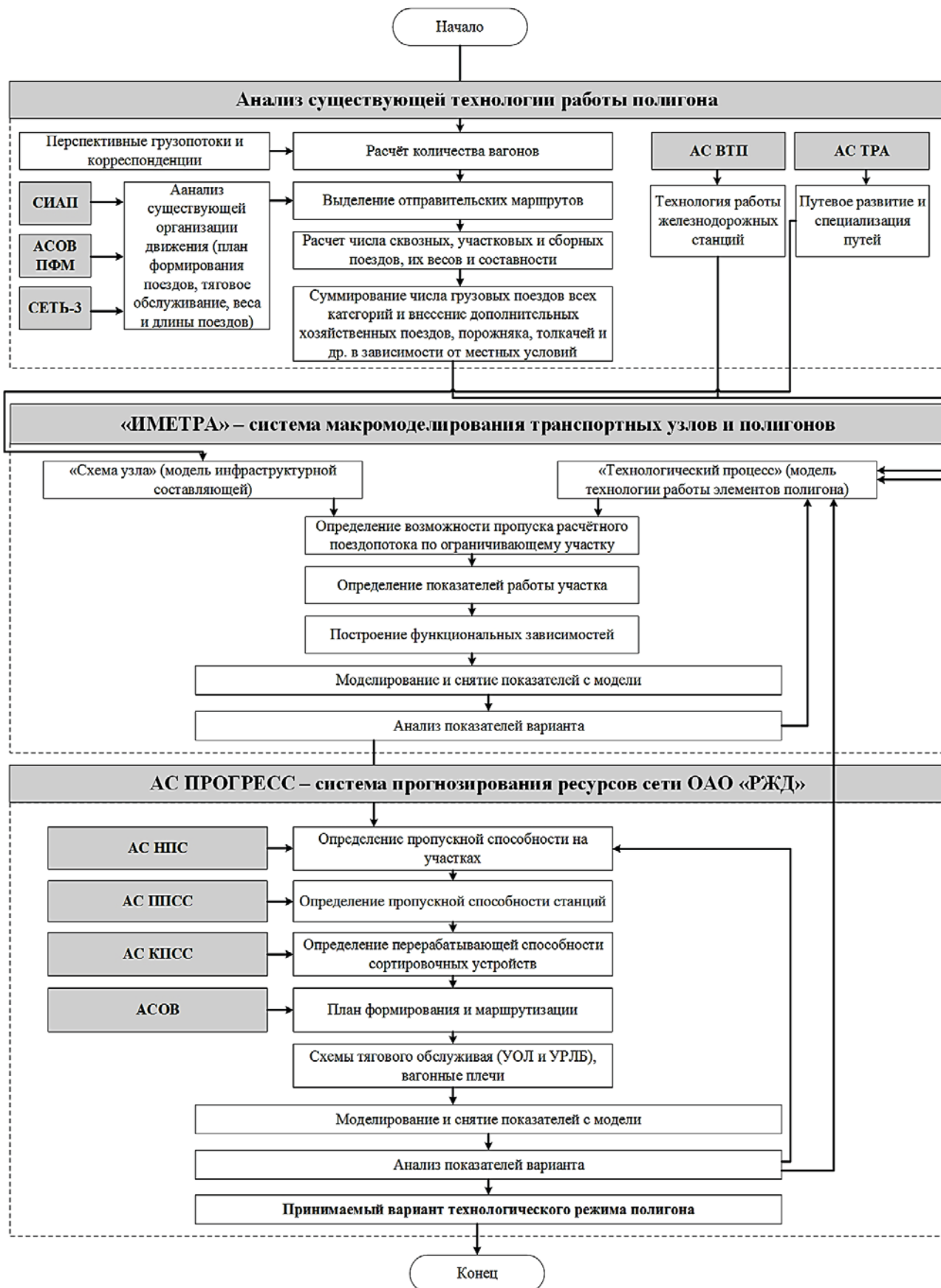


Рис. 3. Алгоритм проведения разработки вариантного технологического режима в условиях действия длительного ограничения с использованием гибридного имитационного модельного комплекса

и отдельных пунктов (неориентированный граф G_1); сеть УОЛ и УРЛБ, выделенных технических и грузовых станций (ориентированный граф G_2); сеть назначений плана формирования поездов и отправительских (груженых и порожних) маршрутов (ориентированный граф G_3); технологических объектов работы вагонного парка (ориентированный граф G_4)» (5). Графы после накладки расчётных корреспонденций вагонопотоков обретают поездопотоки ($N_{i,j,k}$) и определяется загрузка элементов сети ($\Psi_{i,j}$); парк локомотивов ($P_{i,j,k}$). В итоге рассчитываются зависящие эксплуатационные расходы на продвижение поездопотока ($E_{зав}(m)$) (6). Среди вариантов технологии работы в условиях длительного ограничения выбирается наиболее экономичный вариант при обеспечении устойчивого функционирования сети.

$$M_{2,m} = \{ G_1; G_2; G_3; G_4 \Rightarrow N_{i,j,k}; \Psi_{i,j}; P_{i,j,k} \}, \forall m, M_2(m), \quad (5)$$

$$E_{зав}(m) \Rightarrow \min \wedge N_{нал(i,j,d)} \geq C N_{спыз(i,j,d)}; C \Psi_{i,j} \leq C \Psi_{max i,j}. \quad (6)$$

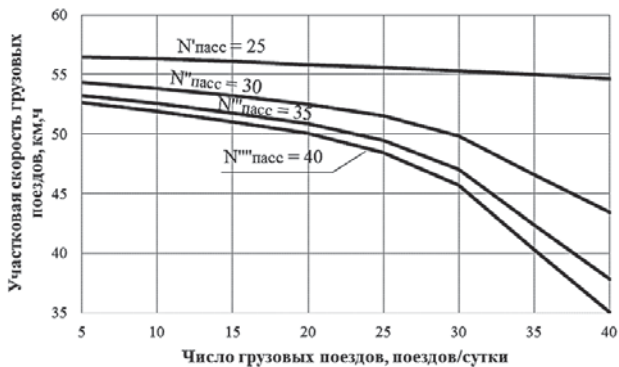


Рис.2. Зависимость участковой скорости от размеров движения грузовых и пассажирских поездов на участке 13-12-11-10

Максимальная технологически допустимая загрузка элементов сети определяется расчётами в модели M_1 , которая зависит от надёжности рассчитываемого элемента (H):

$$M_1(m) = \{ \Psi_{i,j}; H_{i,j} \}, H_{i,j} \Rightarrow 1, \quad (7)$$

Алгоритм проведения разработки вариантного технологического режима в условиях действия длительного ограничения с использованием гибридного имитационного модельного комплекса, включающего в себя автоматизированные системы ИМЕТРА и ПРОГРЕСС, приведён на рис. 3.

При анализе существующей технологии полигона, 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 исполненных вагонопотоков.

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), подсистема «Компьютерный паспорт сортировочной станции» (КПСС). Совместное использование данных систем позволяет выполнить точные расчеты пропускной способности станционной инфраструктуры, а наличие обширной базы данных позволяет упростить данный процесс.

Обоснование параметров устойчивого функционирования полигонов железнодорожной сети в условиях прогнозируемых ограничений вызывает необходимость разработки вариантных технологических режимов. Для их исследования предлагается применение гибридного модельного комплекса, включающего в себя две подсистемы, основными средствами моделирования являются системы ИМЕТРА и АС ПРОГРЕСС. В работе представлены принципы описания и формирования моделей в системе ИМЕТРА (М1) и АС ПРОГРЕСС (М2). Проведен расчёт участковой скорости на участке для определения возможности переключения поездопотоков на параллельные хода с использованием М1. Для М2 описаны условия решения задачи по выбору приоритетного варианта технологии работы полигона.

Результаты разработки принципов построения гибридного модельного комплекса для исследования вариантных технологических режимов эксплуатационной работы обобщены в форме алгоритма проведения исследования.

Литература:

1. Сайбаталов Р.Ф., Бородин А.Ф. Вагонный парк, инфраструктуру и управление движением – к общему знаменателю. // Железнодорожный транспорт. – 2014. – №11. – С. 26–34.
2. Козлов П.А., Колокольников В.С., Сорокин В.И. Совместное использование аналитических методов и имитационных моделей. // Транспорт Урала, 2016. – № 3. – С. 3 – 8.
3. Бородин А.Ф. Эффективно использовать станционные мощности. // Железнодорожный транспорт, 2006. – № 6. – С. 37 – 43.
4. Козлов П.А. Информационные технологии на транспорте. Современный этап. – Транспорт Российской Федерации, 2007. – № 10. С. 38-41.

5. Козлов П.А., Набойченко И.О., Пермикин В.Ю. От Кузбасса до Усть-Луги – единая модель. // Железнодорожный транспорт, 2016. – № 3. – С. 26 – 29.
6. Бородин А.Ф., Панин В.В. Автоматизированная система прогноза ресурсов сети. // Железнодорожный транспорт, 2017. – № 4. – С. 18 – 27.
7. Бородин А.Ф., Сухов А.А. Обеспечение функциональной надежности перевозочного процесса при размещении восстановительных средств железных дорог. // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2018): МАТЕРИАЛЫ Одиннадцатой междунар. конфер., 1-3 окт. 2018 г., Москва: в 2-х т. / Ин-т проблем упр. им. В.А. Трапезникова Рос. акад.

наук; под общ. ред. С.Н.Васильева, А.Д.Цвиркуна. – Т. 2: Секции 8-16. – М.: ИПУ РАН, 2018. – С. 44 – 46.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

- **Дмитриев Егор Олегович**
Москва, АО «Институт экономики и развития транспорта», инженер отделения эксплуатации железных дорог и взаимодействия транспортных систем
dmitrievgr@mail.ru



УДК 004.65

Немцов Э.Ф.

ИСУЖТ и нормативно-справочные данные

Введение

Вряд ли кто будет спорить, что нормативно-справочные данные являются основной системообразующей частью информационного обеспечения любой компьютерной системы, и не важно, является ли она автоматической или автоматизированной. Нормативно-справочные данные в транспортной организации одинаково важны как для систем телемеханики, так и для систем управления отгрузками или бухгалтерского учета.

К нормативно-справочным данным (НСД) объекта относят данные, которые остаются постоянными внутри этапа жизненного цикла объекта. Если, например, стадией жизненного цикла железнодорожного пути считать время от одного капитального ремонта до другого, то внутри такой стадии не изменяется полезная длина пути, тип рельса и т. п. Внутри этапа (часть стадии) не изменяется обозначение пути и т. п., поэтому эти данные относятся к НСД. С другой стороны, по этому пути проследует много различных поездов, данные об их проследовании по этому пути будут изменчивыми, их нельзя отнести к НСД о железнодорожном пути.

В цифровую эпоху необходимо и естественно требовать, чтобы у всех компьютерных систем ОАО «РЖД» были *единые* нормативно-справочные данные (НСД) о процессах перевозок и транспортных услуг. В противном случае, без единых НСД, различные системы будут выдавать рассогласованные управляющие решения и формировать противоречивые отчетные данные.

Согласно целевой архитектуре систем управления перевозками основными автоматизированными системами в ОАО «РЖД» должны стать ИСУЖТ (Единая интеллектуальная система управления и автоматизации производственных процессов на железнодорожном транспорте) и АСОУП (Автоматизированная система оперативного управления перевозками). «Разделение труда» между этими двумя системами состоит в том, что ИСУЖТ основная управляющая, планирующая, моделирующая, прогнозирующая система перевозочного процесса, а АСОУП основная оперативная учетно-отчетная система перевозочного процесса и производства.

Основной объем НСД поступает в ИСУЖТ из АСОУП, а также из АС ЦНСИ как из основной цен-

трализованной системы ОАО «РЖД» по нормативно-справочной информации, см. ниже (рисунок 1).

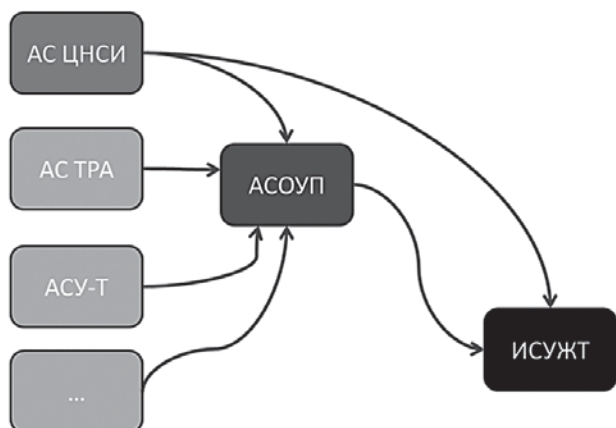


Рис.1. Основные поставщики НСД в ИСУЖТ

С другой стороны, ИСУЖТ формирует собственные НСД, которые могут быть переданы в смежные автоматизированные системы в обратном направлении. В отечественной терминологии НСД, поступающие извне, называют первичными, а сформированные внутри системы называют производными [1].

В западной классификации НСД разделяют, кроме того, на ссылочные (reference data) и основные (master data) [2]. К ссылочным НСД относят разнообразные классификаторы и справочники, а к основным – реестры (перечни) объектов, классифицированные ссылочными данными. Например, ссылочными являются «виды деятельности предприятий», а основными – перечень самих предприятий.

Помимо разделения на первичные и производные, на ссылочные и основные, НСД разделяют по содержанию. В управлении железнодорожными перевозками обычно выделяют:

- НСД, описывающие железнодорожную сеть (регионы, пункты и т. п.),
- локомотивные НСД (серии локомотивов, виды тяги и т. п.),
- организационно-управленческие НСД (полигоны, предприятия и т. п.),
- бригадные НСД (участки обслуживания, нормы и т. п.),
- вагонные НСД (род вагона, причины отцепки и т. п.) и пр.

Описанная выше классификация НСД является *независимой*, т. е. любые НСД могут быть *одновременно* отнесены, скажем, к первичным, основным и локомотивным.

В компьютерных системах ОАО «РЖД» сложную предметную область железнодорожных перевозок описывают не менее сложные модели НСД, содержащие более восьмисот разнообразных взаимосвязанных таблиц с общим количеством записей около 5 млн.

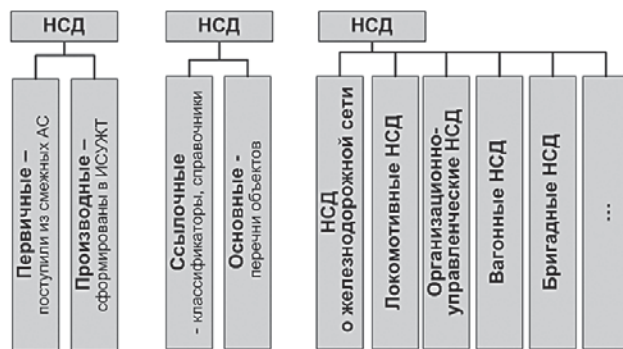


Рис.2. Классификация НСД

Очевидно, что без специальных программ крайне сложно поддерживать параллельно в нескольких компьютерных системах в непротиворечивом качественном состоянии столь большие и сложные модели НСД, описывающие огромное разнообразие инфраструктуры, подвижного состава, тяговых ресурсов, нормативов и ограничений перевозочного процесса.

Повышение качества НСД в ИСУЖТ с помощью программных комплексов MDM

В мировой практике программными средствами для поддержки высокого качества НСД служат программные комплексы класса Master Data Management (MDM) [3].

В 2018 году в составе ИСУЖТ была введена в действие подсистема обеспечения технологических процессов справочными данными (ОТП СД). Ядром подсистемы стал программный комплекс класса MDM.

Подсистема спроектирована как централизованная в том смысле, что у неё единственный серверный компонент для всех ПТК (программно-технических комплексов) ИСУЖТ. Серверный компонент размещается на центральном узле ОТП СД. Поток НСД и компоненты подсистемы упрощенно показаны ниже (рисунок 3).

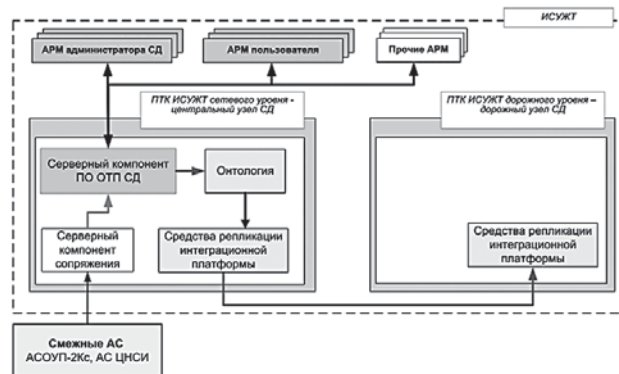


Рис.3. Схема взаимосвязей подсистемы

Именно в серверном компоненте проводится проверка качества НСД. Проверенные на центральном

узле данные передаются в онтологию ИСУЖТ и распространяются на прочие ПТК ИСУЖТ средствами репликации.

Введенная в действие подсистема позволила вывести обработку НСД на новый уровень, соответствующий уровню «цифровой железной дороги».

Подсистема обеспечила:

- контроль полноты, ссылочной целостности и непротиворечивости НСД в ИСУЖТ, т. е. повышение их качества;
- консолидацию данных, поступающих из различных смежных систем;
- единство НСД для всех функциональных подсистем ИСУЖТ;
- единый порядок пакетного обновления НСД в ИСУЖТ;
- единый пользовательский интерфейс для обработки НСД в ИСУЖТ для всех администраторов НСД;
- регламентацию процессов ведения НСД в ИСУЖТ;
- единый подход к функциональным задачам моделирования на основе версии НСД в ИСУЖТ;
- разграничение доступа к НСД со стороны администраторов по функциональному и территориальному признакам;
- настраиваемые средства импорта и экспорта справочных данных;
- отчетность о состоянии НСД в ИСУЖТ;
- уменьшение затрат на создание функциональных и технологических подсистем ИСУЖТ за счет исключения дублирования разработок по хранению и контролю качества НСД в каждом подпроекте.

Проверка ссылочной целостности и консолидация НСД в подсистеме описаны подробнее ниже.

Таблица из источника А

Атрибут К	Атрибут L	Атрибут О
K1	AL1	AO1
K2	AL2	AO2
...		
KN	ALN	AON

Таблица из источника В

Атрибут К	Атрибут L	Атрибут М
K1	AL1	BM1
K2	BL2	BM2
...		
KM	BLM	BMN



Объединенная таблица

Атрибут К	Атрибут L	Атрибут О	Атрибут М
K1	AL1	AO1	AM1
K2	BL2	AO2	AM2
...			
KM	BLM		BMN
KN	ALN	AON	

Рис.5. Схема консолидации НСД

Ссылочная целостность данных

Под ссылочной целостностью понимается отсутствие записей, которые ссылаются на несуществующие записи. Например, нарушением целостности будет запись о работнике, «работающем» в несуществующей организации.

Целостность данных поддерживается в подсистеме, в первую очередь, за счет жестко спроектированной структуры данных, в которой описаны все возможные их взаимосвязи, (рисунок 4).



Взаимосвязи показаны соединительными линиями. Наименования всех элементов являются условными

Рис.4. Схема некоторой части структуры НСД, относящихся к модели железнодорожной сети

Запись, нарушающая целостность, считается дефектной, она исключается из множества качественных НСД.

Консолидация НСД в ОТП СД

В подсистеме спроектирована и настроена консолидация данных, поступающих из различных смежных систем, если такие данные описывают одни и те же объекты железнодорожного транспорта и описывают несколько по-разному.

В частности, в двух системах ОАО «РЖД» параллельно ведётся два перечня пунктов железных дорог (раздельных, остановочных и пр.), важнейших для ИСУЖТ. Как выяснилось при разработке подсистемы ОТП СД, перечни в двух системах отличаются друг от друга атрибутивным составом и количеством записей.

Разработчикам подсистемы удалось спроектировать и настроить средствами MDM-ядра автоматическое объединение двух перечней в один. В объединенном перечне сведены записи и их атрибуты из обоих независимых источников. Объединение записей происходит на основе приоритетов источников, дублирование описаний одного и того же объекта в объединенном перечне отсутствует (рисунок 5).

В объединенную таблицу попадают все атрибуты и все записи из обоих источников. Источнику В по атрибуту L назначен более высокий приоритет, поэтому в записи K2 оказывается значение BL2, а не AL2. KN не равно KM.

В результате консолидации двух перечней от двух поставщиков появился объединенный и выверенный перечень железнодорожных пунктов, единый для всех подсистем в ИСУЖТ.

Анализ качества первичных НСД

Средствами подсистемы удалось провести массовую проверку качества НСД, поступающих в ИСУЖТ из основных систем ОАО «РЖД» (АСОУП-2, АС ЦНСИ)¹. Прошедшие проверку записи образовали множество качественных записей, которые стали доступными для прочих подсистем ИСУЖТ.

Проверка качества первичных НСД проходила на соответствие некоторым неформальным содержательным критериям, а также формальным реляционным критериям: формат, полнота, уникальность, ссылочная целостность.

Значения НСД проверялись на соответствие заданным форматам: либо числовым, либо строковым типам данных.

¹ Подробнее про качество нормативных и справочных данных в основных системах ОАО «РЖД» см. в докладе [4]

Полнота проверялась как заполненность обязательных полей согласно заданным форматам (рисунок 6).

Таблица раздельных пунктов

Код ЕСП	Наименование	...
88010	МАРИИНСК	
88022		
88162	ТАЕЖНАЯ	
...		

Абстрактный пример неполноты в записи с кодом 88022
Рис.6. Пример возможного нарушения критерия полноты

Уникальность проверялась на отсутствие записей с одинаковыми кодами (рисунок 7).

Таблица раздельных пунктов

Код ЕСП	Наименование	...
88010	МАРИИНСК	
88162	ТАЕЖНАЯ	
88010	МАРИИНСК	
88033	ЛЕСНОЕ	
...		

Абстрактный пример недопустимого дублирования в записях с кодом 88010
Рис.7. Пример возможного нарушения критерия уникальности

Ссылочная целостность проверялась на отсутствие таких записей, которые ссылаются на отсутствующие записи (рисунок 8).

Абстрактный пример нарушения ссылочной целостности в таблице раздельных пунктов в записи с кодом 96065 при ссылке на код дороги 93 .

По перечисленным выше критериям в подсистеме ОТП СД были массово проверены первичные НСД в объеме, связанном со сквозным технологическим процессом тяговых расчетов, разработки нормативного и вариантного графиков движения поездов, нормирования, регулирования, планирования, контроля и анализа тяговых ресурсов, управления тяговым хозяйством. Этот объем данных занимает большую часть всех НСД

Таблица раздельных пунктов

Код ЕСП	Наименование	Код дороги
88010	МАРИИНСК	88
88033	ЛЕСНОЕ	88
95129	УРУША	94
96065	АРХАРА	93
...		

Таблица железных дорог

Код дороги	Наименование	...
88	Красноярская	
94	Забайкальская	
...		
96	Дальневосточная	

Рис.8. Пример возможного нарушения критерия ссылочной целостности

в ИСУЖТ. Ниже приведена диаграмма (рисунок 9) со сводными сведениями о дефектных НСД в основных системах ОАО «РЖД».

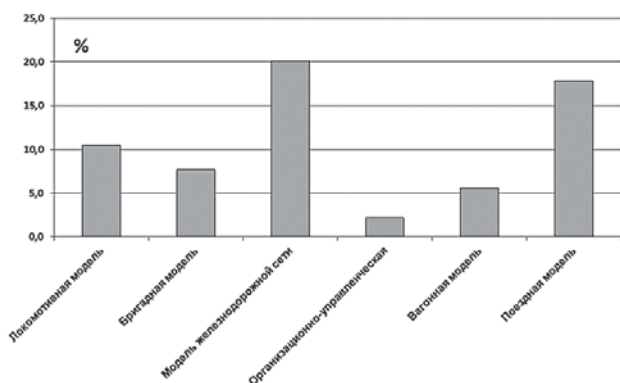


Рис.9. Доля дефектных записей в первичных НСД (АСОУП-2, АС ЦНСИ)

Итоги проверки следующие. Все записи в проверенных таблицах АСОУП и АС ЦНСИ соответствуют заданным форматам, полны и уникальны по кодам. С другой стороны, выявлены следующие основные недостатки:

- нарушение ссылочной целостности в большой доле проверенных таблиц;
- отсутствие поддержки для хронологической версииности в некоторых АС-первоисточниках;
- содержательное и временное рассогласование некоторых справочников в АС-первоисточниках;
- частичная классификационная противоречивость в описании станционных путей в АС-первоисточниках.

Недостатки в первичных справочных данных, даже если вклад каждого недостатка в отдельности представляется незначительным, в своей совокупности приводят к существенным трудностям в связывании оперативных данных перевозочного процесса с соответствующими справочными данными.

Подобные трудности в связывании данных особенно влияют на ИСУЖТ как на управляющую систему. Они существенно (на 50 %) увеличивают трудоемкость разработки ИСУЖТ, усложняют алгоритмы планировщиков, приводят к ошибкам в контроле и планировании перевозочного процесса, см. ниже (рисунок 10).

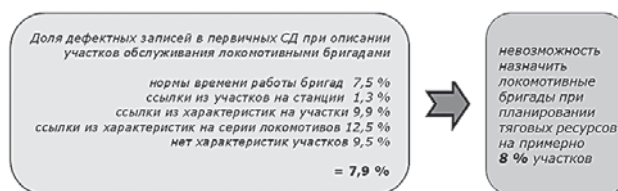


Рис.10. Последствия дефектов в НСД для управления тяговыми ресурсами в эпоху «цифровой железной дороге»

Хотя проектирование структур НСД, правил проверки их качества, настройка MDM-ядра весьма трудоемки, после этой работы можно проводить проверку качества НСД автоматически. Без применения MDM-ядра массовая проверка была бы крайне трудоёмкой при каждом повторе.

Заключение

Необходимым условием автоматизации является качественный (полный, непротиворечивый, обновляемый и т. п.) набор нормативно-справочных данных описывающих объекты, субъекты и процессы управления. В современном цифровом мире для управления нормативно-справочными данными применяют специализированное программное обеспечение класса MDM.

Литература:

1. Модин А. А., Яковенко Е. Г., Погребной Е. П. Справочник разработчика АСУ. – М.: Экономика, 1978.
2. Павлюц А. Мастер-данные и управление ими. – 2016 // Интернет-ресурс. Режим доступа: <https://iqsystems.ru/master-data-basics-article/>. Дата доступа: 08.09.2017.
3. Википедия. Управление основными данными // Интернет-ресурс. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki>. Дата доступа: 09.09.2017.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

- Немцов Эдвард Фридрихович
Москва, АО «НИИАС»,
начальник отделения,
кандидат физико-математических наук
e.nemtsov@vniias.ru



Розенберг Е.Н., Шухина Е.Е., Астрахан В.И., Гурьянов А.В., Кисельгоф Г.К.

Развитие бортовых комплексов управления и обеспечения безопасности движения поездов

Базовым объектом в функциональной структуре железнодорожного транспорта является подвижной состав. Эффективность использования подвижного состава определяется его производительностью, безопасностью работы, энергопотреблением и эксплуатационными затратами на всех этапах жизненного цикла.

Эффективность работы и безопасность движения подвижного состава обеспечивается за счет применения современных интеллектуальных средств автоматизации и обеспечения безопасности движения поездов, высокоточных средств навигации, информационного сопровождения поездов на всем участке следования (рисунок 1) посредством использования защищенных каналов радиосвязи.

Один из фундаментальных принципов функционирования современных железных дорог заключается в том, что следующие попутно поезда должны быть разделены путевым интервалом, достаточным для обеспечения безопасности движения.

Для выполнения поставленных задач используются результаты моделирования работы систем интервального регулирования (СИР), и, в первую очередь, реализующих современную технологию «виртуальной сцепки» (ВСЦ) поездов в составе (рисунок 2). Технология ВСЦ описывается моделью движения поездов, разделённых путевым интервалом, достаточным для следования со скоростью, обеспечивающей безопасность движения. Результатом применения этой технологии является сокращение межпоездного интервала и значительное повышение пропускной способности на участках железных дорог. Дополнительно технология «виртуальная сцепка» позволит без подбора объединять грузовые поезда в группы, а также динамически менять их количество.

В настоящее время ведутся работы по апробации и проверке разрабатываемых технологических решений на полигоне Хабаровск II – Находка Дальневосточной железной дороги, с использованием типовых систем автоматического ведения грузового поезда ИСАВП-РТ.

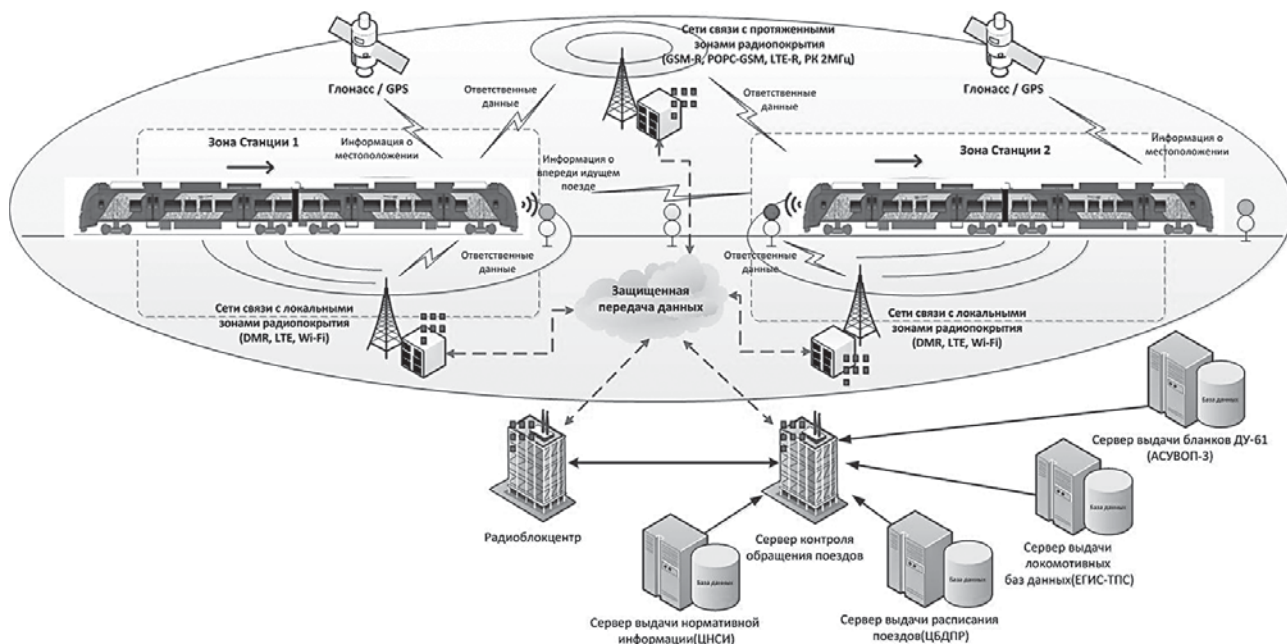


Рис.1. Информационное сопровождение движения поездов



Рис.2. Использование технологии «Виртуальная сцепка»

Наличие на локомотиве устройств автоведения, отображающих на мониторе положение впереди идущего поезда, снимает ряд проблем, возникающих у локомотивной бригады при сближении поездов и вызывающих повышенную психологическую нагрузку. (рисунок 3). В частности, в системе ИСАВП-РТ машинисту предоставляются данные о расстоянии до хвоста поезда и скорости движения, что позволяет в полной мере информировать машиниста последующего локомотива о возможности беспрепятственного следования, тем самым исключая дополнительную психологическую нагрузку. Реализация такой технологии требует наличия на локомотивах современных систем безопасности с электронной картой и систем автоведения, способных работать по цифровому радиоканалу, в качестве которых уже сегодня могут быть использованы типовые системы ИСАВП-РТ.

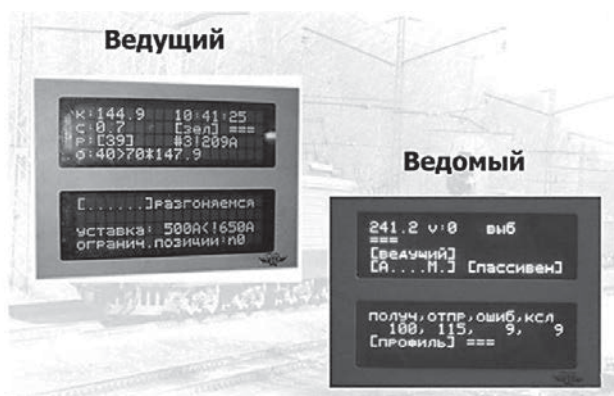


Рис.3. Монитор ИСАВП-РТ в кабине машиниста

Еще одним перспективным направлением исследований является технология интервального регулирования движения поездов, позволяющая обеспечить безопасное движение с повышением допустимых скоростей при проследовании желтого сигнала светофора. Также ставится задача безусловной остановки поезда перед запрещающим показанием светофора (рисунок 4). При этом учитывается тип тягового подвижного состава, веса поезда и профиль пути. Указанная технология может быть использована, как самостоятельная функция системы интервального регулирования, так и как одна из ключевых функций в многоуровневых системах управления движением поездов.

Ограничивающим фактором в данной технологии является длина зоны действия радиосвязи на участке с последовательно идущими поездами. В качестве канала цифровой радиосвязи могут быть использованы только специализированные сети связи: вновь построенные (GSM-R, LTE) или использующие существующую инфраструктуру (DMR). Применение сетей связи, построенных с использованием существующей инфраструктуры, является наиболее рациональным вариантом, поскольку уже имеется разрешение на использование диапазона радиочастот, а необходимые модемы выпускаются российскими предприятиями. Однако использование таких решений требует выполнения ряда работ по определению и подтверждению гарантированного расстояния между локомотивами, на точность определения которого оказывают влияние различные факторы: промышленные помехи, рельеф местности, климат. На сегодняшний день имеются разработанные технические решения по организации такой связи в тоннелях, что также необходимо учитывать.

Для проверки возможности использования сетей передачи данных, построенных с использованием существующей инфраструктуры, проводятся исследовательские работы по определению возможности использования канала связи между поездами в диапазоне частот 2 МГц, который широко применяется в поездной диспетчерской связи. Использование данного канала обеспечит резервирование передачи информации и может оказаться решающим фактором для последующего тиражирования технологии, поскольку уже создана развитая информационная база в инфраструктуре на сети железных дорог.

Кроме того, для проверки варианта реализации технологии «виртуальная сцепка» без использования системы ИСАВП-РТ, принято решение о проведении исследовательских работ на опытном участке Москва-Домодедово на электропоездах моторвагонного депо Домодедово. Целью работ является проверка функционирования цифровых радиомодемов типа РМЦ/2.150, которые совместно разработаны АО «НИИАС» и ООО «Лаборатории радиосвязи», а также проверка возможности организации цифрового радиоканала на частоте 2150 кГц или 2130 кГц для передачи данных о местоположении хвостового вагона впереди идущего поезда. Также решается задача предоставления машинисту информации о скорости и координате хвостового вагона впереди идущего поезда на мониторе блока МПУЛ-И в составе системы КСАДП.

Такое решение позволяет использовать эксплуатируемые на электропоезде антенно-фидерные устройства стационарных и локомотивных радиостанций железнодорожной радиосвязи.

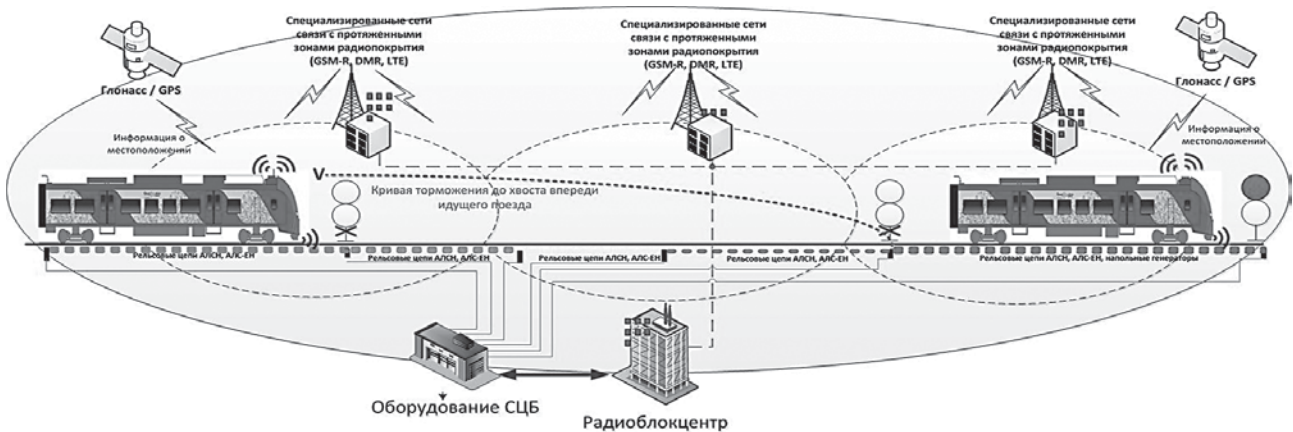


Рис.4. Использование технологии «Интервальное регулирование»

Расширение функциональных возможностей устройств безопасности при внедрении указанных технологий обеспечит выполнение функций проследования поездами путевого светофора с показанием «Жёлтый» с повышенными скоростями за счет учета информации о состоянии стрелок в маршруте (при движении по станции) и дополнительной индикацией машинисту расстояния до хвоста впередиидущего поезда.

Еще одним проектом, который реализуется в рамках системы «Цифровая железная дорога» является работа по совершенствованию и функциональному развитию системы КСАДП на пригородных направлениях Московской железной дороги для передачи на борт информации, связанной с обеспечением безопасности дви-

жения, расписаний движения и другой информации, необходимой машинисту для управления поезда.

Канал передачи данных на борт подвижного состава организован с помощью терминалов, обеспечивающих локальный беспроводной доступ (по каналу Wi-Fi) на оборотных станциях, а также с помощью дополнительного канала радиосвязи POPC GSM, применение которого, позволило организовать передачу данных не только в зоне действия сети Wi-Fi на оборотных станциях, но и оперативно при движении поездов по участку.

Значительные изменения и дополнения были внесены в программное обеспечение локомотивного устройства безопасности, которое обеспечивает формирование управляющих воздействий на основании временных ограничений скорости, полученных по радиоканалу, а

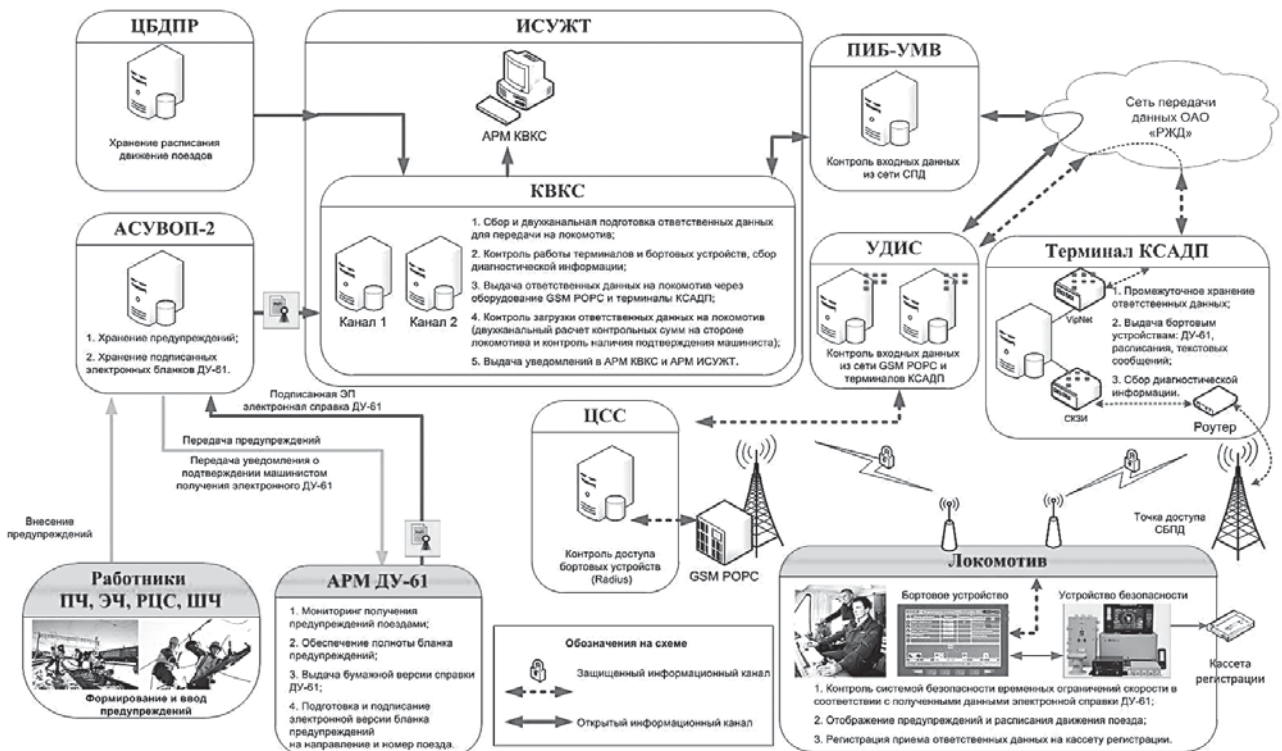


Рис.5. Технология передачи ответственной информации на локомотив в КСАДП

также регистрацию получения временных ограничений (рисунок 5), их просмотр машинистом, регистрацию подтверждения полученных ограничений и предупреждений в локомотивном устройстве безопасности.

В рамках данных работ применены решения, позволяющие доставлять аннотации от сервера АСУВОП-3 и АС-САР через сервер КВКС ИСУЖТ на терминал КСАДП по сети СПД ОАО «РЖД», с использованием контроля целостности и актуальности передаваемых данных. Для построения схемы защиты информации в системе КСАДП применены новые технические решения, разработанные в связи с ужесточением требований к защите информации в информационных системах (рисунок 6). Взаимодействие между бортовыми устройствами и КВКС ИСУЖТ осуществляется через терминалы КСАДП и оборудование стандарта GSM (POPC GSM) с использованием сертифицированных средств защиты информации. Дополнительно реализовано диагностирование бортовых устройств и терминалов КСАДП с последующим просмотром результатов мониторинга и диагностических данных в клиентском приложении АРМ КВКС.

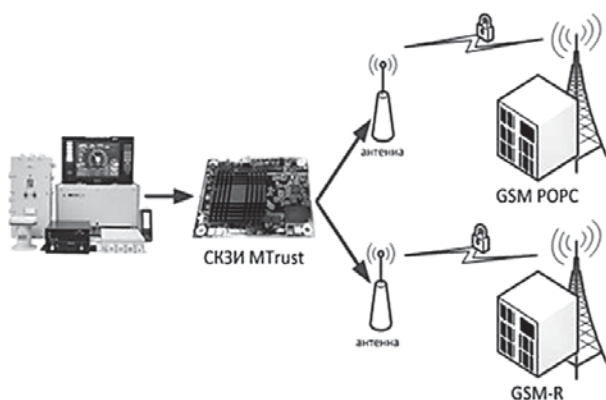


Рис.6. Средства защиты информации в КСАДП

С учетом разработанных подходов система КСАДП реализована на участках Москва – Голутвин, Москва – Черусти и Москва – Александров. В ней реализован принцип открытости и возможность дальнейшей модернизации как программного обеспечения, так и технических средств для расширения функциональных возможностей и полигонов внедрения.

Система КСАДП разработана с учетом возможности адаптации под любые системы технологической радиосвязи, внедряемые на сети железных дорог ОАО «РЖД», обеспечивающие передачу требуемого объема информации за установленное время.

Основой бортового комплекса КСАДП является унифицированный связевой блок МПУЛ, совмещенный с монитором для отображения полученной информации (рисунок 7). Блок разработан с учетом выполнения требований функциональной безопасности и включает два независимых вычислительных модуля,

взаимодействующих по внутренней сети Ethernet с сертифицированным модулем криптографической защиты информации, предназначенным для выполнения требований информационной безопасности. Модуль защиты информации имеет встраиваемое исполнение и не требует выполнения работ по проведению сертификации блока в целом.



Рис.7. Модуль МПУЛ: дополнительный и основной блоки индикации

Для передачи информации по беспроводным каналам передачи данных применяются средства на базе стандартов LTE, GSM, Wi-Fi. Кроме того, в блоке предусмотрена возможность подключения дополнительных радиостанций через интерфейсы RS-232 и Ethernet. Для организации подключения установлены современные связевые модули, подключаемые к вычислительному ядру системы с применением унифицированных интерфейсов, что обеспечивает совместимость оборудования разных поколений.

Отображение информации обеспечивается на дисплее с диагональю 7" с применением современного интерфейсного взаимодействия, необходимых углов обзора и расширения, автоматической регулировки яркости отображения. В качестве программной платформы выбраны современные решения с применением встраиваемых операционных систем, поддерживающих полный спектр необходимых стеков сетевых протоколов и обеспечивающих независимую защищенную работу программных модулей системы в режиме реального времени с контролем области хранения данных. За счёт применения гибких решений при разработке программной и аппаратной платформы блока предусмотрена возможность функционального расширения и масштабируемости.

Еще одним важным направлением развития бортовых комплексов является совершенствование функций диагностики с формированием прогноза наступления предотказного состояния оборудования на основе результатов обработки текущих значений и динамики изменения контролируемых параметров, а также формирования тревожных сообщений о наличии риска возникновения отказа для информирования локомотивной бригады, с дальнейшей передачей данного сообщения в систему мониторинга состояния локомотива и в ремонтное подразделение по радиоканалу.

На основании получаемых данных, появляется возможность автоматизации формирования перечня ци-

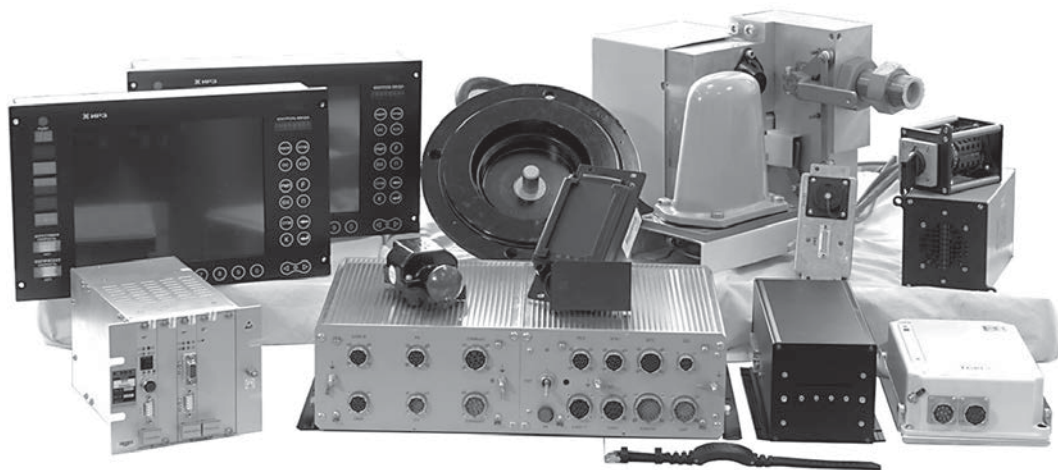


Рис.8. Аппаратура локомотивного устройства СОБ-400

кловых работ перед постановкой локомотива на ремонт, основанного на результатах прогнозирования наступления предотказного состояния оборудования. Полученные результаты позволят совершенствовать систему технического обслуживания подвижного состава и, как следствие, обеспечить поддержание эксплуатационной надежности локомотива на требуемом уровне при минимальных затратах времени, труда и материалов.

Дополнительно автоматизируется процесс предрейсовой подготовки и, в частности, контроль всех систем комплекса с записью полученных данных в «электронный маршрут машиниста», а в процессе ведения поезда обеспечивается защита от ошибочных действий локомотивной бригады по управлению локомотивом.

На сегодняшний день реализация требований к подвижному составу как к объекту цифровой железной дороги, осуществляется на стадии проектирования, где реализуются требования к информационно-управляющему бортовому комплексу технических средств.

Необходимо учитывать, что одновременно с новым на сети железных дорог эксплуатируется подвижной состав предыдущего поколения. На данном подвижном составе эксплуатируется оборудование с ограниченным функциональным и вычислительным ресурсом, устаревшей элементной базой и используются устаревшие технические решения.

Однако слишком часто полностью менять оснащение локомотивного комплекса не может себе позволить практически ни одна компания. Однако, как показывает практика, в любом оборудовании заложены определенные ресурсы, позволяющие проводить модернизацию и расширять функциональные возможности эксплуатируемого оборудования при незначительных затратах.

В этом направлении ведется работа по модификации бортовой расширяемой системы управления и обеспечения безопасности движения (СОБ 400), которая позво-

лит реализовать более сложные алгоритмы управления тяговым преобразовательным оборудованием, обеспечивать более точную остановку поезда за счет применения высокоточной спутниковой навигации и локальных точечных датчиков (рисунок 8). Кроме того разрабатываемая система позволит повысить уровень безопасности движения и энергоэффективности вождения поездов.

Кроме того разработка ведется с учетом требований «цифровой железной дороги». А именно процесс ведения поезда выстраивается на основе спутниковых технологий и автоматической идентификации подвижного состава, с учетом информации полученной от систем диспетчерской централизации. Для чего будут реализованы алгоритмы взаимодействия с системами интервального регулирования движения поездов без светофоров с применением цифрового радиоканала.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Розенберг Ефим Наумович**
Москва, АО «НИИАС», первый заместитель Генерального директора, доктор технических наук, профессор
- **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
- **Гурьянов Александр Владимирович**
Москва, АО «НИИАС», начальник сектора
a.guryanov@vniias.ru
- **Кисельгоф Геннадий Карпович**
Москва, АО «НИИАС», начальник отделения
g.kiselgof@vniias.ru

УДК 656.222.3

Бородин А.Ф., Щепанов С.Л., Рубцов Д.В., Кибанов Г.В., Подорин А.А.

Автоматизированный расчет сетевого плана формирования грузовых поездов на основе критериев экономической эффективности

В период с 2013 по 2019 годы проведена масштабная работа по подготовке необходимой нормативно-методической базы, а также информационной основы для нового поколения программных средств автоматизированного расчета плана формирования грузовых поездов. В промышленной эксплуатации находится подсистема «Разработка и ведение Плана формирования грузовых поездов и маршрутов» (АСОВ-ПФ) [1]. Основным нормативно-методическим документом, регламентирующим ведение расчетов, являются новые Инструктивные указания по организации вагонопотоков [2], в которых уточнены критерии оптимизации плана формирования грузовых поездов и порядка направления вагонопотоков, а также модернизированы основные методики расчетов по организации вагонопотоков (рисунок 1).

Разрабатываемая Подсистема автоматизированного расчета сетевого плана формирования грузовых поездов (СПФ-2) автоматизирует положения новых инструктивных указаний по организации вагонопотоков и предоставляет пользователю варианты плана формирования с их технико-экономической оценкой (рисунок 2).

Первая очередь СПФ-2, разрабатываемая в 2019 году, предусматривает расчет плана формирования в

части сквозных и участковых назначений между 210 станциями, которые формируют и/или расформируют сквозные поезда, включая крупные грузовые станции. Включены также станции формирования международных поездов, что необходимо для корректного прогнозирования пропуска вагонопотоков, завершающих и начинающих свои рейсы в железнодорожных администрациях Содружества Независимых Государств, Грузии, Латвийской Республики, Литовской Республики и Эстонской Республики. По данным станциям в расчет автоматически добавляются и фиксируются в неизменном состоянии назначения поездов в международном сообщении, которые не являются предметом расчета сетевого плана формирования, так как они не могут быть изменены в одностороннем порядке.

Интеграционная составляющая системы обеспечивает получение:

- нормативно-справочной информации о справочниках и классификаторах из ЦНСИ ОАО «РЖД»;
- параметров работы станций и участков, действующего плане формирования и исполненных поездов и вагонопотоках из подсистем АСОВ;
- пропускных способностей железнодорожных участков из АС ПАСПОРТ НПС;

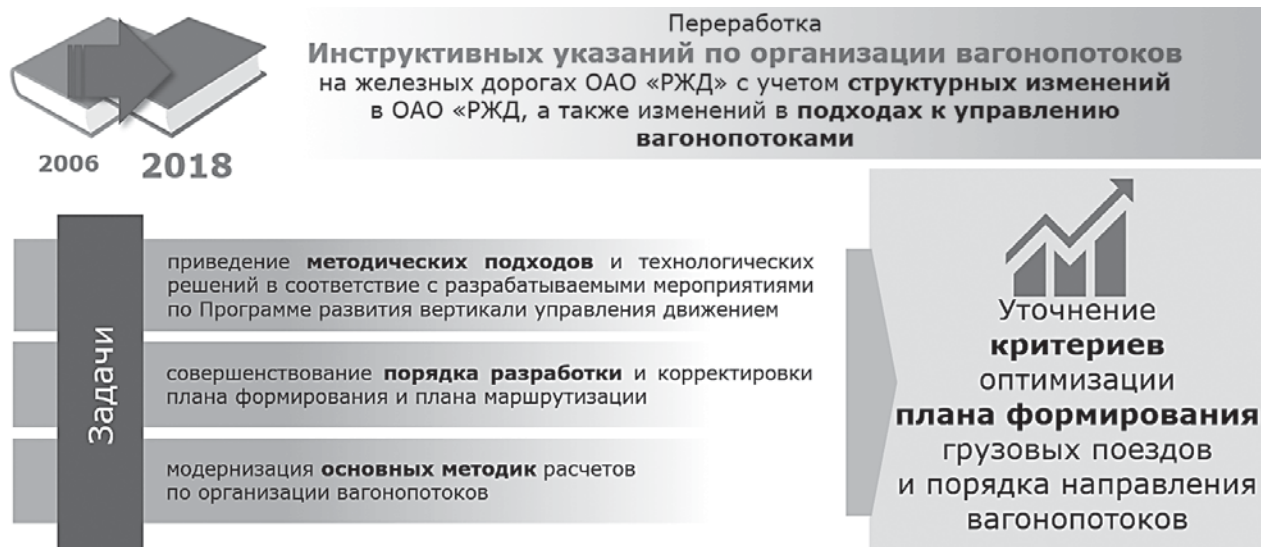


Рис. 1. Инструктивные указания по организации вагонопотоков



Рис.2. Порядок выполнения расчета

- плановых объемов перевозок в виде вагонопотоков (корреспонденций) между станциями сети из АС ЭТРАН.

Для станций сетевого расчета плана формирования в подсистеме АСОВ «Компьютерный паспорт сортировочной станции» определены расчетные нормативы в виде зависимостей, требующихся для корректного учета использования их перерабатывающих способностей:

- зависимость технически допустимой переработки вагонов от числа формируемых назначений;
- зависимость затрат на переработку вагонов по станции от количества формируемых составов поездов;
- зависимость времени операций с вагонами на станциях (исключая время накопления) от количества формируемых составов поездов.

Особенность реализации расчета в СПФ-2 заключается в том, что нормативы вычислены для всех расчетных станций, а не только для станций, имеющих сортировочные устройства. Каждая станция была рассмотрена как совокупность элементов инфраструктуры, участвующих в технологии сортировочной работы, и определены те, которые влияют на перерабатывающую способность. С учетом выделенных элементов были сформированы расчетные модели и вычислены расчетные нормативы.

До расчета пропуска вагонопотоков в системе выполняется генерация графа сети допустимых назначений плана формирования грузовых поездов. Важными элементами данного этапа является включение в граф назначений поездов на соседние станции расчета с целью обеспечения связности графа, а также включение назначений поездов на направлениях, где в плановых объемах перевозок присутствует мощные «прямые»

корреспонденции. Для каждого назначения поездов в графе определяется маршрут следования по участкам с наименьшими затратами на пропуск, при этом учитываются установленные кружности.

Основным этапом расчета является моделирование продвижения поездо- и вагонопотоков по экономически эффективным направлениям с учетом сгенерированного графа сети допустимых назначений поездов. Расчет выполняется для каждой предусмотренной в плане перевозок корреспонденции, и учитывает попытку пропуска по сочетанию назначений с наименьшими общими затратами на пропуск по железнодорожной сети. В случае отсутствия возможности продвижения по наиболее эффективному маршруту следования в системе выбирается следующий по эффективности вариант. Причиной отклонения от экономически эффективных маршрутов являются: исчерпание пропускной и перерабатывающей способностей станций и участков, ограничения следования по транспортным узлам и участкам, закрытым для транзитного грузового движения, и другие ограничения, предусмотренные существующими правилами эксплуатационной работы. Настраивать данные ограничения может, в том числе, и пользователь системы.

Важными особенностями расчета являются встроенные в систему алгоритмы соблюдения древовидности плана формирования и исключения повторного включения, когда вагонопотоки в адрес одной станции назначения при попадании на станцию сетевого расчета не должны разделяться в разные назначения поездов.

Исключением из данного правила являются порожние вагонопотоки, прокладка которых также осуществляется в рамках расчета в системе. В сети потенциальных назначений поездов специально выделяются порожние, с определением соответствующих

затрат. В рамках выполнения моделирования пропускной способности рассматривается вариант продвижения как в общих (груженные и порожние), так и в порожних назначениях поездов (при их наличии), и выбирается наиболее эффективный.

После базового расчета продвижения поездо- и вагонопотоков выполняются оптимизирующие действия, такие как:

- исключение маломощных назначений, удовлетворяющих критерию экономической эффективности, но не обеспечивающих выполнение сроков доставки грузов;
- разукрупнение избыточно мощных назначений для эффективного использования станционной инфраструктуры, а также пропускных способностей.

Первичное применение оптимизирующих действий осуществляется автоматически, однако пользователю доступно внесение изменений в результаты работы оптимизатора.

Управление расчетом плана должно обеспечиваться путем:

- 1) введения в целевую функцию повышающих компонентов за использование резервов; за отклонение от плана; за превышение ресурсов;
- 2) объявления лимитирующих станций и участков, то есть таких, для которых ограничения по пропускной и перерабатывающей способности должны быть выполнены при любых условиях;
- 3) ограничения полигона корректировки, в том числе рассмотрением только вагонопотоков, проходящих через определенные элементы сети (например, лимитирующие);
- 4) задания минимальной величины отклоняемых вагонопотоков;
- 5) задания станций, проведение корректировки плана формирования для которых запрещено;
- 6) ограничения использования отдельных назначений для корректировки плана или исключения их из плана

План формирования грузовых поездов, как один из ключевых инструментов сквозного производственного планирования ОАО «РЖД», должен учитывать вариативность экономических параметров. Исследования показали, что данная цель достижима при максимальном использовании существующего алгоритмического аппарата.

В рамках алгоритмов расчета плана формирования одногруппных грузовых поездов методом пошагового распределения вагонопотоков по сети допустимых назначений поездов [1] выполнение требований вариативности критериев оценки обеспечивается следующими приемами.

- 1) Запись составляющих целевой функции с разными наборами стоимостных параметров.
- 2) Непосредственный расчет требуемых ресурсов подвижного состава.
- 3) Непосредственный расчет выполнения ресурсных, инфраструктурных и логистических ограничений.
- 4) Возможность задания приоритетности прокладки вагонопотоков по сети поездных назначений.
- 5) Возможность трансформации сети допустимых назначений поездов в зависимости от специфики решаемых задач.
- 6) Возможность включения повышающих / понижающих компонентов к значениям целевой функции в зависимости от специфики решаемых задач.

Эффекты от повышения транзитности вагонопотоков оцениваются не только традиционными факторами сокращения переработки вагонопотоков на технических станциях в пути следования. Важными дополнениями к оценке эффективности сквозных назначений являются:

1. Учет эффекта на станции назначения вагонов.
2. Учет эффекта повышения качества оперативного управления и регулирования продвижения грузо- и вагонопотоков к пунктам назначения за счет повышения транзитности вагонопотоков.
3. Учет внутрисуточных режимов поездной и станционной работы.
4. Отклонение местного вагонопотока от кратчайшего пути по условиям включения его в сквозные поезда на технических станциях.

Так, эффективность формирования отдельных поездов или поездных групп назначением на станцию выгрузки (перевалки), в том числе с детализацией по родам грузов, грузовым пунктам, причалам, маневровым районам должна оцениваться не только сопоставлением затрат на станции формирования и экономии на попутных технических станциях, но и учитывать стоимостные оценки:

$E_{ст.назн}$ – стоимостные оценки нахождения вагонов и выполнения операций на станции назначения;

$E_{подх}$ – стоимостные оценки задержек поездов на подходах станции назначения и связанные с использованием вагонов и тягово-энергетических ресурсов;

$E_{рег}$ – стоимостные оценки повышения качества оперативного управления и регулирования продвижения грузо- и вагонопотоков к пунктам назначения за счет повышения транзитности вагонопотоков, вычисляемые через уменьшение потерь поездо-часов в пути следования, случаев оставления поездов без локомотивов и отклонения поездов от экономически рациональных путей следования;

$E_{\Delta N}$ – стоимостные оценки снижения потерь перерабатывающей способности железнодорожных путей необщего пользования.

Каждое назначение одногруппных поездов с включением в них вагонов с учетом особых условий, предусмотряемое в плане формирования, характеризуется эксплуатационными расходами:

$$E_{\text{назн}} = E_{\text{нак}} + N(\Sigma E_{\text{уч}} + \Sigma E_{\text{тр}} + E_{\text{ст.назн}}) + E_{\text{подх}} + E_{\text{рег}} + E_{\Delta N},$$

где $E_{\text{нак}}$ – стоимостная оценка накопления составов данного назначения, руб./сут.;

N – мощность назначения, вагонов/сут.;

$\Sigma E_{\text{уч}}$ – сумма удельных (приходящихся на 1 вагон данного назначения) стоимостных оценок пропуска поездов по участкам, руб./вагон;

$\Sigma E_{\text{тр}}$ – сумма удельных стоимостных оценок преследования транзитных поездов по техническим станциям, руб./вагон;

$E_{\text{пер}}$ – стоимостная оценка переработки составов на станции назначения поезда, руб./вагон.

Для каждого рассчитанного варианта плана формирования СПФ-2 определяет показатели эффективности:

- количество назначений поездов;
- количество транзитных вагонов;
- перерабатываемые вагонопотоки на станциях сетевого расчета;
- транзитные вагонопотоки без переработки;
- уровень транзитности немаршрутизированных вагонопотоков;
- средняя дальность пробега вагонов в поездах формируемых назначений;
- среднее количество станций переработки за рейс;
- суммарные пробеги вагонов;
- суммарные зависящие расходы варианта плана формирования.

Оценка рассчитанных показателей плана формирования, без какого-либо сравнения, не позволяет принимать решение об эффективности и необходимости ввода в действие рассчитанного варианта. Поэтому в системе предусмотрена возможность моделирования пропуска плановых объемов перевозок по действующему плану формирования, вычисление аналогичных показателей и их сопоставление с расчетным вариантом.

Сопоставление с действующим планом формирования выполняется с применением расчета, а не по действующей отчетности. Только используя одинаковые исходные данные и исключив влияние технологических решений, принятых в оперативной обстановке, возможно корректно оценить уровень положительного влияния от ввода в действие рассчитанного системного варианта плана формирования грузовых поездов.

Важным элементом автоматизации расчета плана формирования является реализация пользовательского интерфейса (рисунок 3) и проработка сценариев его использования:

- выполнение периодических и регламентированных расчетов плана формирования в целом для всей сети железных дорог в координации с процессом сквозного производственного планирования, установленным в ОАО «РЖД»;
- выполнение вариантных расчетов с различными исходными данными и параметрами, для решения различного рода технологических задач;
- возможность оценки предлагаемого решения по изменению плана формирования не в локальных для станции условиях, а в рамках влияния на перевозочный процесс в целом.

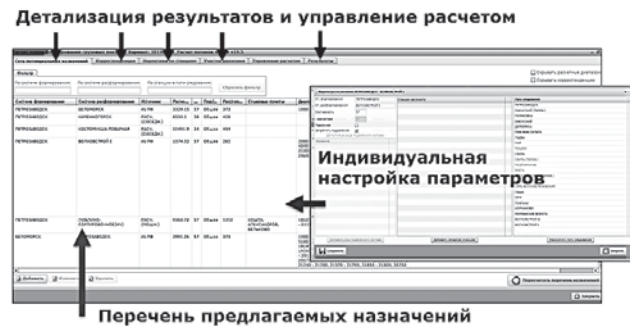


Рис.3. Пользовательский интерфейс СПФ-2

СПФ-2 предусматривает набор экранных форм, обеспечивающих возможность создания варианта расчета, выбирая из списка плановых или исполненных объемов перевозок. Дальнейшие этапы расчета выполняются автоматически и не требуют от пользователя дополнительных настроек, однако после ознакомления с результатами специалист по плану формирования может внести свои управляющие решения, что приведет к изменению показателей эффективности.

Таким образом, изменение парадигмы ведения плана формирования будет постепенно смещаться от необходимости продумывания и оценки специалистом всех возможных вариантов сочетаний поездов, формируемых станциями расчета, к заданию критериев и условий выполнения задачи и получения соответствующего предложенного системой варианта плана формирования. Тем не менее в архитектуре разрабатываемой системы специалист по плану формирования не является только управляющим требованиями к результату. Он имеет возможность внесения изменений как в параметры графа допустимых назначений плана формирования, так и в технологию работы станций, что позволит оценивать комплексные и перспективные варианты технологии организации вагонопотоков, которые система не может определить самостоятельно.

В настоящее время специалистами по плану формирования на полигонах железных дорог ведется анализ результатов расчета с целью выявления предложений по адаптации и настройке алгоритмов, выходных

и экранных форм. Оценка результатов расчета говорит о повышении транзитности вагонопотоков и соответствующем снижении числа станций с переработкой в пути следования по предложенному системой варианту, однако величина простоев на станциях и число назначений будут расти. При этом оценка изменения зависящих расходов на выполнение перевозок является положительной и говорит об экономической эффективности рассчитанного варианта.

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. – Изд-во ОАО «НИИАС», 2016.
2. Инструктивные указания по организации вагонопотоков на железных дорогах ОАО «РЖД». – Утв. 29 декабря 2018 г. распоряжением ОАО «РЖД» №2872/р.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Бородин Андрей Федорович**
Москва, АО «Институт экономики и развития транспорта», заведующий отделением эксплуатации железных дорог и взаимодействия транспортных систем, доктор технических наук, профессор
borodinaf@mail.ru
- **Рубцов Дмитрий Валерьевич**
Москва, АО «ИЭРТ», и.о. начальника отдела отделения эксплуатации железных дорог и взаимодействия транспортных систем
dmitriy.rubtsov@gmail.com
- **Щепанов Сергей Леонтьевич**
Москва, АО «ИЭРТ», заместитель заведующего отделением – начальник отдела отделения эксплуатации железных дорог и взаимодействия транспортных систем
szkvtr@mail.ru
- **Кибанов Григорий Викторович**
Москва, АО «ИЭРТ», программист отделения эксплуатации железных дорог и взаимодействия транспортных систем
gkibanov@gmail.com
- **Подорин Александр Андреевич**
Москва, АО «ИЭРТ», инженер 1 категории отделения эксплуатации железных дорог и взаимодействия транспортных систем
alex@podorin.ru



УДК 656.2

Бородин А.Ф., Николаев К.Ю., Сухов А.А.

Методы оценки показателей надежности в прикладных задачах управления перевозочным процессом

Задачи управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте характеризуются набором специфических показателей, характеризующих эксплуатационную надежность как транспортно-технологической системы в целом, так и составляющих ее компонентов транспортной инфраструктуры и транспортно-логистических цепей в перевозках грузов и пассажиров.

С учетом исследования [1] основными внешними показателями надёжности транспортно-логистических цепей, диктуемыми потребностями пользователей услуг транспортно-технологической системы, являются

$H_1 = P(t_{\text{об}} \leq t_{\text{об}}^*)$ – вероятность непревышения заданного времени следования единицы транспортного потока между заданными путками (узлами) транспортной сети;

$H_2 = P(T_{\text{min}} \leq T_{\text{проб}} \leq T_{\text{max}})$ – вероятность прибытия (проследования) единиц транспортных потоков в заданные пункты транспортной сети в заданном интервале времени.

В работе [1] сформулированы также основные способы повышения эксплуатационной надежности транспортно-технологической системы:

- 1) увеличение допустимого времени следования $t_{\text{об}}^*$;
- 2) уменьшение разброса суммарного времени следования $t_{\text{об}}$.

Указанные способы характеризуются не только разными затратами перевозочных ресурсов и денежных средств, но и разными уровнями качества перевозочного процесса и, следовательно, не только расходов, но и доходов, технологических и финансовых рисков.

Вместе с тем при одних и тех же численных значениях показателей H_1 и H_2 возможны разные значения разброса временных параметров перевозочного процесса и задержек транспортных потоков различных классов, дающие принципиально разные технико-экономические результаты.

Проф. Е.М.Тишкин [2] сформулировал понятия «коэффициент технологического использования графика движения поездов» (аналог коэффициента

технического использования в теории надежности), показывающий долю времени в течение суток, за которое не происходит отклонений поездов от графика, и «обобщенный коэффициент технологического использования графика» (учитывающий как число опаздывающих поездов, так и время их опоздания). С учетом [2] обобщенный коэффициент технологического использования транспортно-логистической цепи либо её части при наличии резервирования определяется как

$$k_{mo} = \frac{24(N - N_o)}{24N + (t_{cб} - t_p w_p)N_o N + N_o T_{ок}}$$

где N – общее число проследовавших единиц транспортного потока; N_o – число единиц, имевших опоздание (превышение допустимых отклонений от заданной длительности следования, установленных интервалов прибытия или проследования); $t_{cб}$ – средняя продолжительность задержки одной опоздавшей единицы транспортного потока в пределах транспортно-логистической цепи либо её части, ч; w_p – доля транспортных единиц (от общего числа), имеющих резерв времени; t_p – длительность указанного резерва на одну такую единицу, ч; $T_{ок}$ – продолжительность нормативных технологических окон (в общем случае – суммарного за сутки времени, когда не производится движение транспортных единиц либо их определённых классов), ч.

Рассматриваемые соотношения позволяют вывести зависимости, характеризующие надежность выполнения графика движения пассажирских поездов; выполнения сроков доставки грузов и порожних вагонов, не принадлежащих перевозчику; обеспечения принятых заявок на перевозки грузов порожними вагонами; обеспечения тяговыми ресурсами вывоза поездов.

Для оценки показателей надежности развивается комплекс математических моделей, включающих компоненты сетевых потоковых задач (для распределения транспортных потоков и технико-технологических мероприятий) и имитационного моделирования (для вычисления функций распределения и числовых характеристик прохождения транспортных потоков).

В сетевой потоковой модели транспортно-технологической системы каждое ребро графа в общем случае представляет элемент транспортной инфраструктуры и/или технологическую операцию (набор операций). При заданном техническом оснащении, технологии работы и методах оперативного управления на ребре графа задаются зависимости суммарных задержек $\sum t_s$ и надежности H от величины потоковой нагрузки N (рисунок 1). При этом функции $\sum t_s(N)$ и $H(N)$ зависят не только от внутренней структуры потоковой нагрузки рассматриваемого звена транспортно-технологической системы, но и от показателей других (в общем случае – не обязательно соседних) звеньев, которые могут блокировать возможность движения по данному звену. Поэтому значения функций $\sum t_s(N)$ и $H(N)$ должны пересчитываться после каждого шага распределения потоков в рамках сетевой модели в целом.

Меры по обеспечению надежности следует определять, сопоставляя финансовые потери от снижения надежности $R(N)$ с затратами на обеспечение надежности, в том числе резервирование, включая альтернативные пути следования транспортных потоков (рисунок 2). Указанные затраты для разных классов мероприятий имеют различный характер зависимости от потоковой нагрузки – линейный $E_1(N)$, нелинейный $E_2(N)$, кусочно-непрерывный $E_3(N)$.

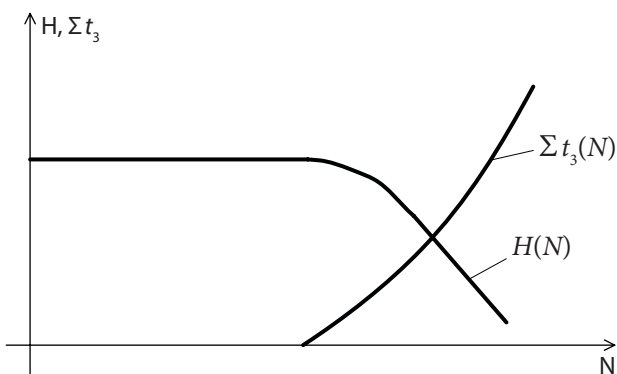


Рис.1. Зависимость суммарных задержек и надежности звена транспортно-технологической системы от потоковой нагрузки.

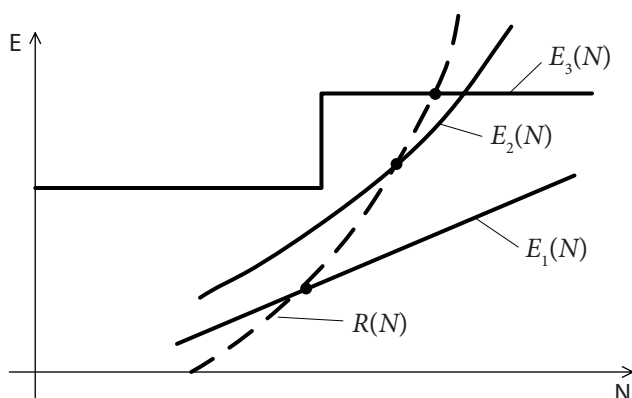


Рис.2. Зависимости финансовых потерь и затрат на обеспечение надежности звена транспортно-технологической системы от потоковой нагрузки.

Зависимости, представленные на рисунках 1 и 2, должны быть предварительно рассчитаны на имитационных моделях.

Существенные различия имеют расчеты надежности перевозочного процесса в условиях текущей эксплуатации и в условиях существенных ограничений в движении. В качестве практических приложений рассматриваются методические подходы к оценке показателей надежности:

- бимодальных транспортных систем в пригородно-городском пассажирском сообщении;
- перевозочного процесса в задачах размещения восстановительных средств железных дорог.

Под бимодальной транспортной системой понимается соединение двух отдельных систем, связанных между собой единым технологическим процессом, который направлен на обеспечение улучшения качества транспортного обслуживания населения. Так, транспортная система «Трамвай-Поезд» [3] позволяет создавать маршруты движения транспортных средств с использованием внутригородских (трамвайных) путей и путей железной дороги.

Особенности взаимодействия двух рельсовых транспортных систем и показатели пропускной способности существенно влияют на резервирование и надежность эксплуатируемых систем. Уровень выполнения и коэффициент технологического использования графика движения, вероятность превышения заданной длительности следования транспортных единиц, вероятности превышения допустимых отклонений времени проследования и прибытия – всё это зависит от значения коэффициента резерва, вероятности безотказной работы, длительности задержек транспортных потоков и времени восстановления после отказов.

Надежность бимодальной транспортной системы «Трамвай-Поезд» предопределяется надежностью транспортной системы «Железная дорога», надежностью транспортной системы «Трамвайная сеть» и надежностью стыка между системами.

Поэтому требуется определить принципы расчета показателей надежности с учетом новых факторов, влияющих на порядок расчета пропускной способности станций и перегонов. Эти величины зависят не только от пропускной способности и графика движения, но и от того, как организована маршрутная сеть и оперативное управление перевозочным процессом, а также от других факторов, приведенных ниже.

В таблице 1 произведено распределение факторов влияющие на надежность бимодальной транспортной системы, по типу их влияния на работу системы.

Представленный набор факторов имеет значение для анализа вероятности возникновения опозданий

Таблица 1. Распределение факторов влияющих на надежность транспортной системы

Факторы, влияющие на вероятность безотказной работы системы	Факторы, влияющие на тяжесть последствий сбоя в работе системы
тип обособленности инфраструктуры (полная, частичная, без обособления); тип применяемого подвижного состава; тип применяемой конструкции пути; тип применяемых устройств СЦБ и связи; качество содержания путевого хозяйства; внешние (заторы на улично-дорожной сети, погода); кол-во категорий поездов (различных по массе и скорости); качество содержания путевого хозяйства (наличие предупреждений о снижении скорости);	тип применяемого графика движения поездов; количество стыковых пунктов между системами; количество и схема размещения резервного подвижного состава; размер коэффициента использования пропускной способности; размер коэффициента использования провозной способности; протяженность маршрутов; пропускная способность стыка между системами; тип обособленности инфраструктуры; неравномерность пассажиропотока по времени суток; кол-во управляющих (диспетчерских) центров; качество содержания путевого хозяйства; пропускная способность стыка между системами.

(задержек транспортного потока), длительности этих задержек, в также оценки длительности восстановления системы до нормального состояния – отсутствия задержек.

С учётом этих факторов устанавливаются требования к методике моделирования работы станций и перегонов на полигоне обращения бимодальных транспортных единиц (трамвай-поездов).

Одним из основных факторов, влияющих на возможность и время восстановления движения по графику (возвращение системы в нормальное состояние) являются резервы времени в перегонных временах хода и в станционных и межпоездных интервалах. Эти резервы позволяют производить управляющие действия, направленные на восстановление графика движения поездов.

На рисунках 3 и 4 представлены фрагменты графика движения поездов и трамвай-поездов в районе стыкового пункта между системами. Раздельные пункты «Б» и «В» являются станциями железной дороги. При этом на станции «Б» расположен физический пункт (гейт) перехода трамвай-поездов из системы в систему и пути оборота пригородных поездов. Раздельный пункт «А» является контрольной точкой в трамвайной системе. Нитки обычных (пригородных) поездов обозначены толстыми линиями, трамвай-поезда – тонкими линиями. Отклонение от графика обозначено пунктирными линиями.

В ситуации, представленной на рисунке 3, при следовании по участку «А» – «Б» произошла задержка $t_{зм1}$ в движении трамвай-поезда, которая не позволила ему прибыть на стык систем вовремя. Так как в момент прибытия трамвай-поезда на пункт стыкования до времени отправления по расписанию пригородного поезда оставалось времени меньше, чем величина межпоездного интервала $t_{мп}$, то отправление трамвай-поезда далее в сторону станции «В» будет возможно

только через $t_{мп}$ после отправления пригородного поезда. Тогда общая задержка трамвай-поезда составит $t_{зм2}$, а задержек в движении поездов не произойдёт.

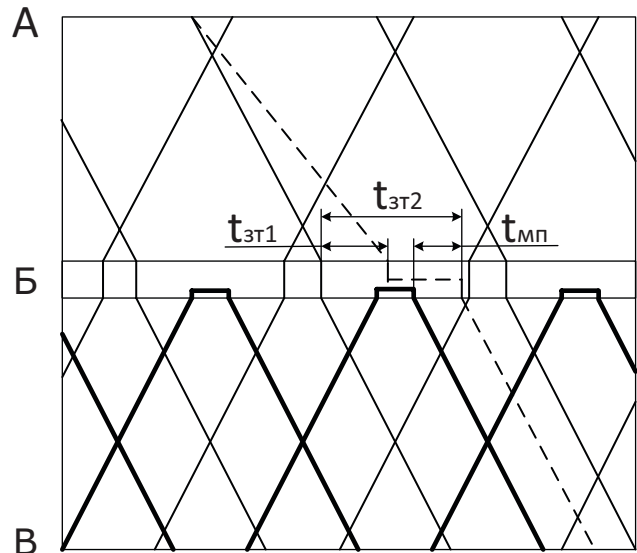


Рис.3. Пример №1 последствий задержек и отклонения от графика движения поездов

Другой вариант развития ситуации представлен на рисунке 4. При следовании трамвай-поезда по участку «А» – «Б» произошла задержка $t_{зм1}$. Основываясь на способах использования резервов в графике движения поездов, представленных в [4], предлагается задержать отправление поезда со станции «Б» и пропустить трамвай-поезд на сеть без задержек на стыковом пункте. Используя свободное поле графика, задержанный поезд отправится вслед нагоняющему своё расписание трамвай-поезду через межпоездной интервал. Задержка поезда составит $t_{зн}$. Для ввода поездов в график могут быть использованы резервы времени, заложенные в перегонное время хода поездов на участке «Б» – «В». Таким образом, через некоторое время оба поезда будут введены в график (в отличие от примера 1, где

произвести нагон мешает движущийся по расписанию пассажирский поезд). Из рисунков 3 и 4 видно, что сумма временных задержек во втором случае будет меньше, чем в первом случае:

$$t_{3м2} > t_{3м1} + t_{3н}$$

Выбор того или иного метода работы с опаздывающими поездами должен производиться в зависимости от величины опоздания и категорий рассматриваемых поездов.

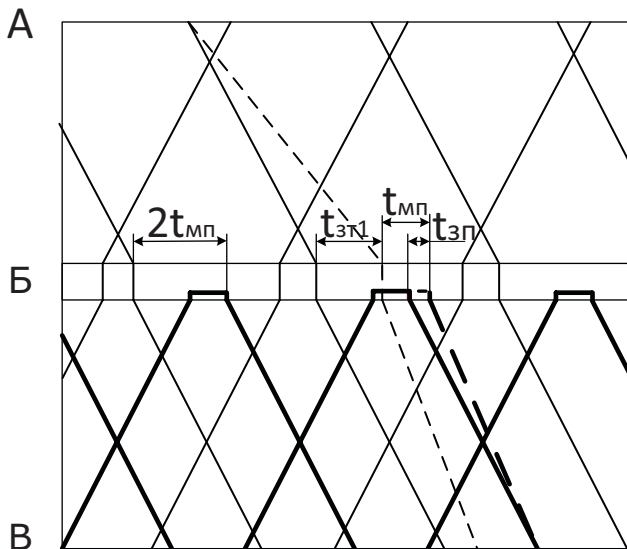


Рис.4. Пример №2 последствий задержек и отклонения от графика движения поездов

В задачах размещения восстановительных средств железных дорог оценке подлежат прежде всего показатели процесса восстановления функционирования перевозочного процесса после образования барьерных мест. К ним относятся время простоя, вероятность и время восстановления, коэффициент технического использования. Сформулированы постановки, предусматривающие минимизацию математического ожидания суммарных расходов, связанных с эксплуатационной работой полигона и содержанием восстановительных поездов, либо максимизацию показателей технологической надежности при заданных ограничениях на расходы, либо минимизацию среднеквадратичного отклонения заданных временных параметров решения при заданных ограничениях на расходы [5].

Пусть отказом на полигоне считается задержанный поезд любой категории. Тогда с момента образования барьерного места количество отказов начинает возрастать с течением времени, и через некоторое время оно достигнет максимального значения.

Для определения характера поведения функции надежности необходимо определить плотность рас-

пределения отказов $f(t)$. Статистически эта функция определяется по формуле

$$f(t) = \frac{\Delta n(t, \Delta t)}{N(t + \Delta t) \cdot \Delta t}, \quad 0 \leq f(t) \leq 1$$

где $\Delta n(t, \Delta t)$ – число задержанных поездов за период времени $(t, \Delta t)$;

$N(t + \Delta t)$ – общее число поездов, которое должно пройти через рассматриваемый полигон за время $(t + \Delta t)$.

График функции $f(t)$ представлен на рисунке 5.

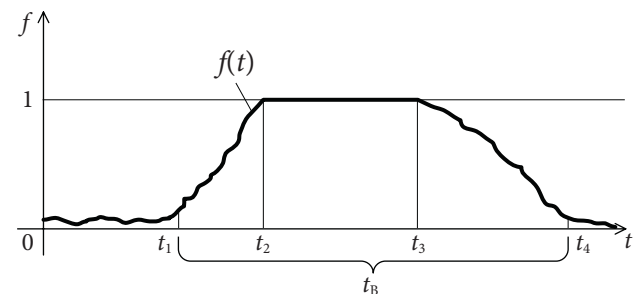


Рис.5. График зависимости плотности распределения отказов от времени

Рассмотрим поведение функции $f(t)$. Пусть в момент времени t_1 образовалось барьерное место. Пропускная способность полигона резко снижается, при этом стремительно начинает расти число отказов. Оно достигает максимума в момент времени t_2 . Поскольку число задержанных поездов достигает максимума, то и функция $f(t)$ достигнет максимального значения. Функция будет придерживаться этого значения до момента полного или частичного восстановления движения t_3 . Затем размеры движения поездов постепенно вернуться к исходным значениям. При этом число отказов будет снижаться и достигнет минимального значения в момент времени t_4 .

Время восстановления движения после образования барьерного места определяется не только временем доставки восстановительных поездов к месту происшествия (расстоянием от мест дислокации восстановительных поездов до барьерного места), но и организацией движения работниками службы перевозок, как во время доставки восстановительного поезда, так и после устранения барьерного места.

Среднее время восстановления работоспособности системы, определяемое по формулам [6], включает в себя время на доставку восстановительного поезда к месту проведения работ и время на снижение числа отказов до минимума. По-другому время восстановления можно охарактеризовать как время с момента образования барьерного места до момента восстановления размеров движения до исходного значения.

Литература:

1. Бородин А.Ф. Управление эксплуатационной работой железнодорожных направлений (Труды ВНИИАС, вып. 6) – М.: ВНИИАС, 2006. – 320 с.
2. Каретников А.Д., Воробьев Н.А. График движения поездов. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Транспорт, 1979. – 301 с.
3. Об эксплуатационных параметрах и сферах применения транспортных систем «Трамвай-Поезд» / Николаев К.Ю. // Актуальные вопросы и перспективы развития транспортного и строительного комплексов : материалы IV Международной. Науч.-практ. Конф. : в 2 ч. Ч. 1 / М-во трансп. И коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп.; под общ. Ред. Ю.И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2018. 315 с.
4. Герасимов А.С. Руководство поездному диспетчеру – М.: Государственное транспортное железнодорожное издательство, 1944. – 387 с.
5. Borodin A.F., Sukhov A.A. Providing the functional reliability of the transport process in placing recovery trains. Published in: 2018 Eleventh International Conference «Management of large-scale system development» (MLSD) <https://ieeexplore.ieee.org/document/8551938>. DOI: 10.1109/ MLSD. 2018.8551938.
6. Грунтов П.С. Эксплуатационная надежность станций. – М.: Транспорт, 1986. – 247 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Бородин Андрей Федорович**
Москва, АО «Институт экономики и развития транспорта», заведующий отделением эксплуатации железных дорог и взаимодействия транспортных систем,
доктор технических наук, профессор
borodinaf@mail.ru
- **Николаев Константин Юрьевич**
Москва, АО «Институт экономики и развития транспорта», инженер
отделения эксплуатации железных дорог и взаимодействия транспортных систем
constantsurety@gmail.com
- **Сухов Андрей Александрович**
Москва, ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта» (МИИТ),
аспирант
arkhonfills@list.ru



УДК 519.872.7

Гришин Е.М., Мусатова Е.Г., Галахов С.А., Правдивец Н.А., Лазарев А.А.

Составление порядка обслуживания локомотивов¹

Введение.

Россия является одним из мировых лидеров по протяженности железных дорог. Для обеспечения перевозок по такой обширной сети железных дорог необходимо использовать крупный парк локомотивов. В России насчитывается более 14 тысяч различных типов локомотивов (тепловозы, электровозы, газотурбовозы и др.). Каждая серия любого типа локомотивов имеет свои особенности при обслуживании. В силу большого разнообразия локомотивов весьма затруднительно создавать универсальные ремонтные позиции. На каждой ремонтной позиции в пунктах технического обслуживания могут обслуживаться только определённые серии локомотивов.

Постановка задачи.

Задан горизонт планирования $T = [T_0; T_1]$ (обычно 24 часа). Известно множество локомотивов L , $n = |L|$, которые в данный горизонт планирования прибывают к пункту технического обслуживания локомотивов (ПТОЛ). Известны времена их прибытия. Заданы времена обслуживания локомотивов. Продолжительность обслуживания задана для каждого типа локомотива и не зависит от выбора ремонтной позиции. В ПТОЛ находятся различные участки (рис. 1).

- *Подъездные пути* – буферный участок, через который локомотивы проходят перед началом обслуживания (работает по схеме FIFO).
- *Ремонтные позиции* – места проведения ремонта и обслуживания локомотивов.
- *Группы ремонтных позиций* – совокупности нескольких ремонтных позиций, на которые можно попасть с одного подъездного пути. В рассматриваемой задаче каждая группа состоит из двух ремонтных позиций (не обязательно идентичные).
- *Путь ожидания* – буферный тупиковый участок путей для временной стоянки локомотивов (работает по схеме LIFO).

Все локомотивы состоят из локомотивных секций (от 1 до 4). Подъездные пути и путь ожидания имеют ограниченные емкости, измеряемые в локомотивах

(и локомотивных секциях). Каждая ремонтная позиция имеет емкость в 3 локомотивные секции. В каждый момент времени на ремонтной позиции не может находиться более одного локомотива. Локомотив, состоящий из 4 секций, проходит обслуживание сразу на двух ремонтных позициях. Такой локомотив занимает и освобождает обе ремонтные позиции одной группы одновременно. При отправке локомотивов на ремонтные позиции возможны следующие три варианта.

- Два локомотива одновременно занимают две ремонтные позиции из одной группы и одновременно покидают их. Если продолжительности обслуживания различаются, то локомотив с меньшим временем обслуживания будет ждать завершения обслуживания второго.
- Один локомотив отправляется на обслуживание. Если локомотив зашел на обслуживание, то другой локомотив не может заехать на эту группу ремонтных позиций до завершения обслуживания первого.
- Ни один локомотив не заходит на обслуживание и обе ремонтные позиции (одной группы) свободны. Обслуживание локомотивов не может быть прервано. Время обслуживания локомотивов может выйти за пределы горизонта планирования.

Задано множество локомотивов L , прибывающих к данному ПТОЛ в рассматриваемый горизонт планирования. Для каждого локомотива l заданы: r_l – время прибытия локомотива к ПТОЛ и p_l – продолжительность обслуживания локомотива. Обозначим через S_l и C_l – времена захода на ремонтную позицию и выхода с нее локомотива l , соответственно. Расчеты были проведены для каждой из следующих целевых функций:

1. максимальное время ожидания обслуживания:
 $F_1 = \max_{l \in L} (S_l - r_l);$
2. суммарное время ожидания: $F_2 = \sum_{l \in L} (S_l - r_l);$
3. суммарное время простоя: $F_3 = \sum_{l \in L} (C_l - p_l - r_l);$
4. время завершения обслуживания всех локомотивов: $F_4 = \max_{l \in L} C_l.$

¹ Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ-РЖД 17-20-01107

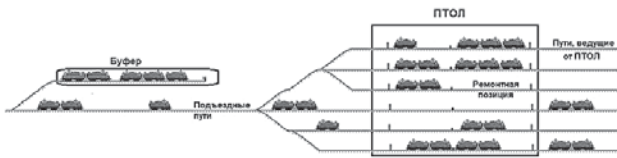


Рис.1: Схема ПТОЛ

Модель динамического программирования.

Пусть задано некоторое множество локомотивов J , которые будут проходить обслуживание на одной группе ремонтных позиций. Для одной группы ремонтных позиций и множества J ниже представлены уравнения Беллмана для модели динамического программирования для каждой из четырех целевых функций. Пусть $j=|J|$ – количество всех локомотивов, которые должны пройти обслуживание на одной группе ремонтных позиций. Упорядочим все локомотивы множества J по времени их прибытия к ПТОЛ. Пронумеруем локомотивы из J в порядке, обратном порядку их прибытия, т.е. в порядке убывания $r_l, l \in J$. Таким образом, первый из обслуживаемых локомотивов будет иметь номер j . Будем рассматривать в качестве состояния системы пару (t, k) , где t – момент освобождения группы ремонтных позиций, $k \in \{1, \dots, j\}$ – количество еще не обслуженных локомотивов к моменту времени t . Построим уравнения Беллмана для решения данной задачи на примере целевой функции $F_1 = \max_{l \in L} C_l$. Обозначим через $h(t, k)$ минимальный момент окончания обслуживания всех локомотивов из J при условии, что к моменту времени t группа ремонтных позиций свободна и еще не обслужено k локомотивов. Пусть $h_1(t, k)$ и $h_2(t, k)$ определяются аналогичным $h(t, k)$ образом с дополнительными условиями: для $h_1(t, k)$ – локомотив с номером k обслуживается один, для $h_2(t, k)$ – локомотив с номером k обслуживается одновременно с локомотивом номер $k-1$ (на одной группе ремонтных позиций). Очевидно, что

$$h(t, k) = \min(h_1(t, k), h_2(t, k)). \tag{1}$$

Если к моменту t необслуженным остался один локомотив, то $h(t, 1) = h_1(t, 1) = \max(t, r_1)$,

$$h_2(t, 1) = +\infty, \tag{2}$$

Для $1 < k \leq j$ имеем:

$$h_1(t, k) = h(\max(t, r_k) + p_k, k-1), \tag{3}$$

$$h_2(t, k) = \begin{cases} h_1(t, k-1) + \max(0, p_k - p_{k-1}), & \text{если количество секций} < 4; \\ +\infty, & \text{если количество секций} = 4. \end{cases} \tag{4}$$

Таким образом, оптимальное значение целевой функции $\max_{l \in L} C_l$ может быть вычислено как $h(\max(r_j, R), j)$ с помощью уравнений, где R – начальный момент времени, когда группа ремонтных позиций становится доступной.

Трудоемкость данного подхода определяется количеством состояний (t, k) , которые необходимо рассмотреть. Определим, какие значения может принимать t . Пусть $z < j$ – количество различных продолжительностей обслуживания локомотивов из множества J , а $\{\Delta_1, \dots, \Delta_z\}$ значения этих продолжительностей. Обозначим через γ_i количество локомотивов в J , имеющих продолжительность обслуживания, равную Δ_i .

$$\text{Тогда } \sum_{i=1}^z \gamma_i = j.$$

Поскольку существует оптимальное расписание без искусственных простоев, т.е. локомотивы отправляются на обслуживание в минимально возможный момент времени, в качестве моментов t достаточно рассматривать моменты из множества

$$\left\{ R + \sum_{i=1}^z \alpha_i \Delta_i \mid \alpha_i \in \{1, \dots, \gamma_i\} \right\} \cup \left\{ r_l + \sum_{i=1}^z \alpha_i \Delta_i \mid l \in \{1, \dots, j\}, \alpha_i \in \{1, \dots, \gamma_i\} \right\}. \tag{5}$$

Тогда максимальное количество возможных моментов времени t равно $O(j \gamma_1 \gamma_2 \dots \gamma_z)$, т.е. не превосходит $O(j^{z+1})$. Тогда общее количество состояний (t, k) может быть оценено как $O(j^{z+2})$. Поскольку величина z – некоторая константа, зависящая от количества различных типов локомотивов, можно говорить, что построен полиномиальный алгоритм. Однако данный алгоритм применим только для одной группы ремонтных позиций. Для его применения необходимо решить какие локомотивы будут обслуживаться на каких группах ремонтных позиций, и какие локомотивы должны отправиться на путь ожидания обслуживания. Аналогичным образом записываются уравнения Беллмана для остальных целевых функций.

Эвристический алгоритм.

Будем строить расписание обслуживания локомотивов пошагово, где на каждом шаге l будем рассматривать l первых прибывших к ПТОЛ локомотивов. Введем понятие частичного расписания π^l – расписание, полученное на этапе l для l первых прибывших к ПТОЛ локомотивов без учета остальных локомотивов. Пусть $l_m(\pi^l)$ – номер последнего обслуживаемого локомотива на группе ремонтных позиций $m \in M$ (M – множество всех групп ремонтных позиций) при расписании π^l .

Для каждого локомотива l введем время его захода на подъездной путь \bar{r}_l , причем для каждого локомотива, который не побывал в буфере: $\bar{r}_l = r_l$. При этом, если локомотив не отправляется в буфер, то $S_l(\pi^l) = C_{l_m(\pi^l)}(\pi^{l-1})$, если локомотив l обслуживается один, и

$$S_l(\pi^l) = \max\left(r_l, S_{l_m(\pi^{l-1})}(\pi^{l-1})\right),$$

если локомотив $l_m(\pi^{l-1})$ обслуживался один при расписании π^{l-1} , а при расписании π^l этот локомотив обслуживается вместе с локомотивом l на группе ремонтных позиций m .

Соответственно, время выхода локомотива будет равно $C_l(\pi^l) = S_l(\pi^l) + p_l$, если локомотив проходил обслуживание на группе ремонтных позиций один, или $C_l(\pi^l) = S_l(\pi^l) + \max\{p_l, p_{l_m(\pi^{l-1})}\}$, где $p_{l_m(\pi^{l-1})}$ – локомотив, зашедший на одну группу ремонтных позиций с локомотивом l . При этом $l_m(\pi^{l-1}) = l$, и при $l = n$ все выше приведенные обозначения соответствуют конечному расписанию $\pi = \pi^l$.

Введем понятие частичных целевых функций для первых l локомотивов, прибывающих к ПТОЛ:

1. максимальное время ожидания:

$$F_1^l(\pi^l) = \max_{i=1, \dots, l} (S_i(\pi^l) - r_i), \quad (7)$$

2. суммарное время ожидания:

$$F_2^l(\pi^l) = \sum_{i=1, \dots, l} (S_i(\pi^l) - r_i), \quad (8)$$

3. суммарный простой:

$$F_3^l(\pi^l) = \sum_{i=1, \dots, l} (C_i(\pi^l) - p_i - r_i), \quad (9)$$

4. завершение обслуживания всех локомотивов:

$$F_4^l(\pi^l) = \max_{i=1, \dots, l} C_i(\pi^l). \quad (10)$$

Если $l = n$, то значение частичной целевой функции совпадает со значением соответствующей целевой функции.

В начале каждого этапа l производятся две процедуры. Первая процедура – проверка буфера. Между прибытием локомотива $l-1$ и прибытием локомотива l некоторые локомотивы могли зайти с подъездных путей на ремонтные позиции. Следовательно, освободились подъездные пути, на которые можно поставить локомотивы из буфера (работает по схеме LIFO). В таком случае меняются $l_m(\pi^l)$ и соответствующие значения $S_{l_m(\pi^{l-1})}(\pi^{l-1})$ и $C_{l_m(\pi^{l-1})}(\pi^{l-1})$ для тех ремонтных позиций, на подъездные пути к которым встали локомотивы из буфера. В таком случае локомотив i в момент времени \bar{r}_i (который соответствует минимальному значению частичной целевой функции) отправляется из буфера на подъездной путь. Вторая процедура – выбор множества K^l групп ремонтных позиций ПТОЛ, удовлетворяющих условиям допустимого расписания. То есть, независимо от количества секций локомотива, выбранные группы должны удовлетворять условию вместимости подъездных путей (количество локомотивов, стоящих в момент времени r_l прибытия локомотива l к ПТОЛ на подъездном пути, меньше, чем их вместимость) и условию, что локомотивы такого типа могут быть обслужены на соответствующих ремонтных позициях. Если эти условия не могут быть

выполнены в момент прибытия r_l локомотива l , то локомотив отправляется в буфер ограниченной емкости. В случае, когда локомотив не может встать на подъездной путь, а в буфере нет свободных мест, то расписание π^{l-1} является недопустимым, алгоритм прекращает работу.

В зависимости от количества секций локомотива рассматриваются различные варианты постановки локомотива на обслуживание.

Если количество секций локомотива l меньше четырех, тогда рассматриваются следующие варианты: отправляется один локомотив l , отправляются два локомотива l и $l' \in \{1, 2, \dots, l-1\}$ (локомотивы могут быть как одного, так и разных типов).

Если количество секций локомотива l равно четырем, то для него рассматривается только один вариант: локомотив l отправляется один (так как занимает всю группу ремонтных позиций целиком) на первую освободившуюся группу ремонтных позиций.

Выбирая на каждом этапе l вариант постановки локомотива на обслуживание, соответствующий минимальному значению частичной целевой функции, при $l = n$ мы получим конечное расписание $\pi = \pi^l$.

Введем функцию $\operatorname{argmin} F(x)$, которая возвращает аргумент функции при наименьшем ее значении, то есть, если $\min F(x) = F(x)$, то $\operatorname{argmin} F(x) = x'$. Введем булеву функцию $c(\pi^l)$, которая равна 1, если частичное расписание π^l является допустимым, и $c(\pi^l) = 0$ в противном случае. Пусть $\pi_\alpha^l(m)$ – расписание, полученное из расписания π^l путем добавления в очередь на обслуживание локомотива $l+1$ для группы ремонтных позиций $m \in M$ при условии, что этот локомотив обслуживается один. В таком случае значение частичной целевой функции вычисляется (на примере F_1):

$$F_1^{l+1}(\pi_\alpha^l(m)) = F_1^l(\pi^l) + C_{l+1}(\pi_\alpha^l(m)) - p_l - r_l. \quad (11)$$

Аналогично, расписание $\pi_\beta^l(m)$ – расписание, полученное из расписания π^l путем добавления локомотива $l+1$ на группу ремонтных позиций m при условии, что этот локомотив обслуживается вместе с последним из обслуживаемых на этой же группе локомотивом $l_m = (\pi^l)$. В таком случае значение частичной целевой функции вычисляется по формуле:

$$F_1^{l+1}(\pi_\beta^l(m)) = F_1^l(\pi^l) - C_{l_m(\pi^l)}(\pi^l) + 2C_{l+1}(\pi_\beta^l(m)) - p_{l+1} - r_{l+1} \quad (12)$$

Расписание π^{l+1} может быть получено из расписания π^l добавлением одного локомотива при условии, что $c(\pi_\alpha^l(m)) = 1$ и $c(\pi_\beta^l(m)) = 1$ следующим образом:

$$\pi^{l+1} = \operatorname{argmin} \left\{ \min_{m \in K^l} F_1^{l+1}(\pi_\alpha^l(m)), \min_{m \in K^l} F_1^{l+1}(\pi_\beta^l(m)) \right\} \quad (13)$$

Если $c(\pi_b^l(m)) = 0$ (например, локомотив l четырехсекционный), то

$$\pi^{l+1} = \operatorname{argmin} \left\{ \min_{m \in K^l} F_1^{l+1}(\pi_\alpha^l(m)) \right\}. \quad (14)$$

Модель программирования в ограничениях.

Для решения данной задачи была предложена модель программирования в ограничениях. Для формулировки на языке программирования в ограничениях и последующего решения задачи было использовано понятие интервальных переменных. Каждая из таких переменных есть временной интервал в горизонте планирования T . При дискретизации с шагом в одну минуту время работы оптимизатора составляло более двух суток. Для ускорения работы оптимизатора была произведена дискретизация времени с шагом в 15 минут. Таким образом, все времена округлялись в большую сторону до времени, кратного четверти часа (например, 13:47 округляется до 14:00). Время расчетов сократилось до 4 часов, но полученное расписание не являлось оптимальным. Кроме того, при поиске решения не хватало памяти персонального компьютера (8 ГБ). Таким образом, использование стандартного оптимизатора целесообразно только для оценки эффективности работы эвристики.

Полученные результаты.

Оказалось, что значение целевых функций, полученных при помощи эвристики, в среднем на 20% больше, чем значения, полученных моделью программирования в ограничениях. При этом лучший результат эвристика показывает для целевой функции $F_4 = \max_{l \in L} C_l$ (время завершения обслуживания всех локомотивов). Значение целевой функции F_4 у эвристики примерно на 3% меньше аналогичного у СР модели.

Из диаграмм Гантта видно, что количества локомотивов, проходящих обслуживание на одной группе ремонтных позиций, близки для двух подходов решения данной задачи. Однако в эвристическом алгоритме обычно в случае одновременного обслуживания двух локомотивов один ждет завершения обслуживания другого (различные времена обслуживания). Тем не менее, сами эти локомотивы, в основном, находятся меньшее время в ожидании прибытия другого. В СР модели локомотивы обслуживаются так, что времена завершения их обслуживания совпадают (продолжительности обслуживания равны). Хотя порой один локомотив весьма продолжительное время ожидает второго для совместного обслуживания.

Интересно, что в то время, когда в расписании, полученном при помощи эвристики, плотность обслуживания локомотивов ниже, в расписании, полученном при помощи программирования в ограничениях, она выше, и наоборот. Важно отметить, что в целом оба метода позволяют загрузить все ремонтные позиции достаточно равномерно. Эвристика группирует локомотивы по времени их при-

бытия (чем меньше время между прибытием двух локомотивов, тем более вероятно, что эти локомотивы будут проходить обслуживание одновременно), а СР модель по продолжительности обслуживания (за счет этого повышается среднее время ожидания обслуживания локомотивов). Непосвященному человеку будет затруднительно определить по диаграммам Гантта какое из расписаний было получено каким методом. В силу быстродействия, малых требований к вычислительным ресурсам и достаточной эффективности предложенный эвристический алгоритм может использоваться на предприятии по обслуживанию локомотивов в реальной жизни.



Рис.2. Диаграмма Гантта, полученная эвристическим алгоритмом



Рис.3. Диаграмма Гантта, полученная оптимизатором IBM Ilog Cplex

Литература:

1. Jia-Yen Huang: New search algorithm for solving the maintenance scheduling problem for a family of machines, *Optimization Methods and Software*, 2006. – С. 461-477.
2. Осяев А.Т., Никифоров В.А. О системе обслуживания локомотивов за рубежом / Осяев А.Т., Никифоров В.А. // Вестник ВНИИЖТ №5, 2012. – С. 56-62.

3. R. P. Evers Algorithms for Scheduling of Train Maintenance, Netherlands, 2010.
 4. Левин Д.Ю. Управление эксплуатационной работой на железнодорожном транспорте: технология и управление работой железнодорожных участков и направлений. Инфра-М, 2018.
-
- СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:**
- **Гришин Егор Максимович**
Москва, МГУ им. М.В. Ломоносова, студент;
ИПУ РАН им. В.А.Трапезникова, техник
grishin.em16@physics.msu.ru
 - **Мусатова Елена Геннадьевна**
Москва, ИПУ РАН им. В.А.Трапезникова,
старший научный сотрудник,
кандидат физико-математических наук
nekolyar@mail.ru
 - **Галахов Семен Алексеевич**
Москва, МГУ им. М.В. Ломоносова, студент;
ИПУ РАН им. В.А.Трапезникова, техник
galakhov.sa16@physics.msu.ru
 - **Правдивец Николай Александрович**
Москва, ИПУ РАН им. В.А.Трапезникова,
младший научный сотрудник
pravdivets@ipu.ru
 - **Лазарев Александр Алексеевич**
Москва, ИПУ РАН им. В.А.Трапезникова,
заведующий лабораторией 68,
главный научный сотрудник,
доктор физико-математических наук
jobmath@mail.ru



УДК 656.2

Галдин А.А., Калашников А.М.

Об опыте использования механизмов единой аутентификации пользователей в АС ОАО «РЖД»

В ОАО «РЖД» в настоящее время насчитывается несколько тысяч информационных систем и в ряде случаев сотрудникам ОАО «РЖД» приходится для выполнения своих функций работать с несколькими автоматизированными системами одновременно.

При этом пользователям необходимо проходить процедуру авторизации в нескольких системах, помнить учетные данные для каждой системы, что в случае нечастого обращения к данным системам приводит или к утере учетных данных и/или их компрометации.

В докладе продемонстрирована реализация единой технологии аутентификации в пилотном проекте по мультимодальной перевозке ИНТЕРТРАН.

В данном проекте сотрудники ОАО «РЖД» из приложения со своего мобильного устройства должны производить действия на мобильном рабочем месте (МРМ), необходимые для организации перевозочного процесса.

Приложение на МРМ обращается к нескольким информационным системам ОАО «РЖД»: АС ЭТРАН, АСУ СТ, ЕАСАПР.

Учитывая новизну задачи для ОАО «РЖД», а также имеющиеся организационно-технические ограничения по взаимодействию АС в части передачи информации по пользователям, было принято решение по использованию единой системы аутентификации на базе подсистемы электронной подписи (ПЭП), обеспечивающей применение простой расширенной электронной подписи (ПРЭП) в ОАО «РЖД».

ПЭП конструировалась как система, предоставляющая пользователям и производственным АС единые механизмы простановки ЭП, аутентификации и авторизации. В рамках реализации проекта были разработаны унифицированные программные модули для встраивания в АС различных уровней.

ПЭП была введена в промышленную эксплуатацию в ОАО «РЖД» в 2017 году и к настоящему времени имеет около 50 000 пользователей. На текущем этапе каждый день с использованием сервисов ПЭП подписывается около 100 000 документов. В перспективе при подключении большего количества задач ожидается

подключение около 200 000 пользователей с увеличением потока подписания на один-два порядка.

Система аутентификации ПЭП построена на базе унифицированной технологии OAuth 2.0.

OAuth 2.0 (RFC 6749) – протокол авторизации, позволяющий выдать одному сервису (приложению) права на доступ к ресурсам пользователя на другом сервисе. Протокол избавляет от необходимости доверять приложению логин и пароль, а также позволяет выдавать ограниченный набор прав, а не все сразу.

OAuth протокол в ПЭП основан на использовании базовых веб-технологий: HTTP-запросах, SSL, редиректах и т.п. с использованием отечественных алгоритмов безопасности.

Использование OAuth возможно на любой платформе с доступом к сети и браузеру: на сайтах, в мобильных и desktop-приложениях, плагинах для браузеров и т.д.

Продукты, базирующиеся на данном стандарте, используются на крупнейших информационных ресурсах:

- Портал Госуслуг;
- Портал налоговой службы РФ;
- Портал госуслуг г. Москвы;
- Mail.ru;
- Vkontakte.ru и многих других.

В зависимости от задач и типов взаимодействующих клиентов, возможно применение следующих типов авторизации:

- Implicit (Неявный);
- Resource Owner Password Credentials Grant (Пароль пользователя);
- Authorization Code (Код авторизации);
- Authorization Code with PKCE (Код авторизации с ключом подтверждения для обмена кода);
- Client Credentials (Учетные данные клиента).

В рамках реализации проекта ИНТЕРТРАН была реализована наиболее распространенная технология Authorization Code with PKCE (Код авторизации с ключом подтверждения для обмена кода).

Алгоритм работы по данной технологии представляет собой следующую последовательность шагов:

- 1) Владелец ресурса (пользователь) открывает приложение в своем браузере (или в другом клиенте) и нажимает кнопку входа в систему. Приложение создает случайное значение(v) и хеширует это значение ($\$$).
- 2) Приложение отвечает перенаправлением в браузер, включая хэшированное значение $\$$.
- 3) Браузер следует за перенаправлением на сервер авторизации.
- 4) Сервер авторизации сохраняет хэшированное значение $\$$ для использования позже и возвращает форму входа.
- 5) Владелец ресурса (пользователь) отправляет свое имя пользователя и пароль непосредственно на сервер авторизации.

6) Сервер авторизации аутентифицирует вас и отправляет перенаправление с помощью недолговечного кода (α).

7) Браузер следует за перенаправлением в приложение, которое извлекает код α из URL-адреса.

8) Приложение делает POST-запрос на сервер авторизации, содержащий: идентификатор клиента, исходное случайное значение v , и временный код α . Сервер авторизации проверяет идентификатор клиента, генерирует хэш-значение v , сравнивает этот хэш с $\$$ -хэшем, который был сохранен ранее, и проверяет значение α .

9) Сервер авторизации отвечает на POST-запрос маркером доступа непосредственно в приложение.

Единственным значением, хранящимся в истории браузера при этом, является одноразовый код временной авторизации: α . Сами маркеры доступа никогда не передаются через URL-адрес. Это связано с тем, что последний этап потока (шаги 8 и 9) является POST-запросом и соответствующим ему ответом.

Плюсы использования единой аутентификации на базе ПЭП в рамках реализованного проекта:

- Упрощение процедуры администрирования пользователей.
- Возможность аутентификации с использованием усиленной электронной подписи (УЭП).
- Повышение защищенности с использованием единых механизмов аутентификации.
- Упрощение процедур ведения мониторинга и разбора инцидентов ИБ.
- Возможность работы с полноценным использованием технологии «тонкий клиент».
- Безопасная передача логина/ПИН-кода с использованием отечественной криптографии без компрометации на стороне внешних систем.
- Использование единой базы клиентов ПЭП для аутентификации во внешних системах.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Галдин Андрей Анатольевич**
Москва, АО «НИИАС»,
руководитель НТК технологий
информационного общества
a.galdin@vniias.ru
- **Калашников Александр Михайлович**
Москва, АО «НИИАС», начальник отделения
НТК технологий информационного общества
a.kalashnikov@vniias.ru

УДК 656.2

Матюхин В.Г., Галдин А.А.

Развитие решений по информационной безопасности ИСУЖТ в 2019 г.

В 2019 году продолжались работы по разработке и развитию программно-технических решений, обеспечивающих информационную безопасность в ИСУЖТ. К основным результатам следует отнести следующие проекты.

В текущем году заключен договор с ОАО «РЖД» на выполнение работы по теме «Создание программно-аппаратного комплекса для обеспечения многоканального взаимодействия автоматизированных систем (ПАК ПИБ УМВ М)» (функциональный заказчик – Департамент технической политики ОАО «РЖД» (ЦТЕХ)). Данная работа базируется на результатах типового технического проекта подсистемы информационной безопасности узлов межсетевого взаимодействия (ПИБ УМВ), выполненного в 2017 г.

Основной задачей выполнения названной работы является создание, с использованием разработанных проектных решений ПИБ УМВ, унифицированного комплекса, осуществляющего безопасное многоканальное взаимодействие автоматизированных и информационных систем (далее – Систем), функционирующих в сети передачи данных оперативно-технологического назначения (далее – СПД ОТН), с Системами, функционирующими в сети передачи данных общетехнологического назначения (далее – СПД ОБТН), в соответствии с требованиями законодательства Российской Федерации и нормативных документов ОАО «РЖД» в области защиты информации.

С целью организации защищенного информационного обмена ПАК ПИБ УМВ М должен обеспечивать функциональное разделение Систем (сегментов сетей) с использованием специализированных прикладных протоколов и технологии разделенного доступа с использованием серверов очередей. Решение указанной задачи предусматривает разработку прикладного ПО для обеспечения многоканального взаимодействия Систем как со стороны СПД ОТН, так и со стороны СПД ОБТН. Разрабатываемое ПО является неотъемлемой частью ПАК ПИБ УМВ М и не может быть использовано без его аппаратной части.

В состав ПАК ПИБ УМВ М входят следующие функциональности:

- функциональность виртуализации;
- функциональность межсетевого экранирования;
- функциональность коммутации компонентов ПАК ПИБ УМВ М и сбора сетевого трафика;
- функциональность анализа сетевого трафика и обнаружения вторжений;
- функциональность защиты от несанкционированного доступа;
- функциональность мониторинга и управления;
- функциональность взаимодействия с системами ОАО «РЖД»;
- функциональность защищенного информационного обмена.

В ПАК ПИБ УМВ М планируется использовать технологию виртуализации, с выделением отдельного контура виртуальных серверов обработки данных, на базе доверенной отечественной защищенной сертифицированной программной платформы.

Предполагается внедрить опытный образец ПАК ПИБ УМВ М в Московском информационно – вычислительном центре (далее – МИВЦ) для обеспечения безопасного взаимодействия приёмо-передаточных бортовых устройств локомотивов (расположенных в СПД ОТН) с АРМ коммуникационно-вычислительного комплекса связи (расположенными в СПД ОБТН) в рамках реализации Комплексной электронной системы актуализации данных о действующих предупреждениях на базе цифрового канала (КСАДП) и, в перспективе, в системах дистанционного управления электропоездами «Ласточка» и радиоблокцентра (RBC).

По результатам создания опытного образца ПАК ПИБ УМВ М на полигоне Московской железной дороги планируется тиражирование ПАК ПИБ УМВ на другие полигоны железных дорог.

На прошлогодней конференции большое внимание мы уделили задачам защиты информации во «внутреннем контуре» ИСУЖТ, которые было предложено решать с использованием функциональности защиты от угроз безопасности информации в прикладных подсистемах ИСУЖТ (ФЗИПП ИСУЖТ). ФЗИПП ИСУЖТ предназначена для обеспечения соответствия уровня

информационной безопасности требованиям законодательства РФ и нормативных документов регулирующих органов (ФСТЭК России и ФСБ России), а также требованиям документов ОАО «РЖД» по защите информации, осуществляя 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).

В 2018 году в рамках темы «Функциональность защиты от угроз безопасности информации в прикладных подсистемах ИСУЖТ» были проведены 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 эксплуатационной документации ФЗИПП ИСУЖТ;
- разработка организационно-распорядительной документации по защите информации ФЗИПП ИСУЖТ;
- разработка рекомендаций по доработке КЗ ИСУЖТ в части обеспечения защиты информации.

Возможными способами осуществления разработанных рекомендаций по доработке КЗ ИСУЖТ в части обеспечения информационной безопасности нами были определены либо модификация программного продукта «Вектор-М», либо разработка базового программного обеспечения защиты информации комплексов задач ИСУЖТ (далее – БПОЗИ КЗ ИСУЖТ). Методически правильным подходом, в соответствии с положениями нормативных документов ФСТЭК России, является реализация требований по защите информации в рамках специального программного обеспечения в защищённом исполнении.

В настоящее время нами завершена подготовка технического задания на разработку базового программного обеспечения защиты информации комплексов задач ИСУЖТ.

Основными этапами работ являются:

- 1) Выделение в контур БПОЗИ КЗ ИСУЖТ функций, реализованных в рамках программного продукта «Вектор-М» и обеспечивающих информационную безопасность. Дополнение БПОЗИ КЗ ИСУЖТ функциями защиты информации, не реализованными в «Вектор-М», но предусмотренными проектом ФЗИПП ИСУЖТ;
- 2) Формирование требований к БПОЗИ КЗ ИСУЖТ. Разработка технического проекта и эксплуатационной документации на «БПОЗИ КЗ ИСУЖТ».
- 3) Реализация технического проекта БПОЗИ КЗ ИСУЖТ.
- 4) Проведение оценки соответствия проекту ФЗИПП ИСУЖТ мер защиты информации, реализованных в БПОЗИ КЗ ИСУЖТ.
- 5) Подготовка БПОЗИ КЗ ИСУЖТ к сертификации по требованиям защиты информации.

Проведение работ по созданию БПОЗИ КЗ ИСУЖТ позволит обеспечить выполнение сформированных единых требований по защите информации в комплексах задач прикладных подсистем ИСУЖТ на основе комплексного подхода к обеспечению информационной безопасности, реализованного на базе проектных решений ФЗИПП ИСУЖТ и ПИБ ИСУЖТ в части сетевой защиты ИСУЖТ.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Матюхин Владимир Георгиевич**
Москва, АО «НИИАС», Первый заместитель Генерального директора –
Научный руководитель,
доктор технических наук
v.matyukhin@vniias.ru
- **Галдин Андрей Анатольевич**
Москва, АО «НИИАС»,
руководитель НТК технологий
информационного общества
a.galdin@vniias.ru



УДК 656.2

Бадецкий А.П

Применение переменных нормативов в расчете плана формирования поездов как способ учета неравномерности вагонопотоков

1. Введение

Использование средних значений вагонопотока в расчете плана формирования является серьезным упрощением задачи. Использование методов теории вероятностей для учета колебаний вагонопотоков накладывает определенные ограничения на количество наблюдений для правильной установки закона распределения, которому подчиняется вагонопоток. В течение ограниченного периода, на который разрабатывается план формирования поездов, наблюдений явно недостаточно, а использование наблюдений за несколько периодов также чревато ошибкой, поскольку структура и динамика вагонопотока одного и того же назначения могут различаться.

Для описания колебаний вагонопотоков могут использоваться нечеткие числа [1, 2]. При таком подходе к учету неравномерности вагонопотоков в расчете плана формирования поездов следует также не забывать о связи значений других расчетных параметров, – затрат на накопление составов и экономии вагоночасов от проследования вагонами технической станции без переработки, – с объемом вагонопотока [3]. В этом случае для обеспечения правильности полученных результатов расчет необходимо производить отдельно по каждому назначению. Для этого в работе [4] предложена методика определения пороговой мощности вагонопотока в условиях переменного характера расчетных параметров.

2. Взаимосвязь вагонопотока с расчетными параметрами плана формирования поездов

В [5] для детальных расчетов рекомендуется использовать следующую формулу для определения параметра накопления с:

$$c_i = 12 \cdot \left(1 - \frac{B \cdot m_p \cdot \sqrt{U_i}}{(3,1 + 0,014U_i) \cdot k \cdot m_i} \right) \quad (1)$$

где B – коэффициент, зависящий от допустимых колебаний числа вагонов в составах рассматриваемого назначения, для среднесетевых условий $B=0,5$ для сквозных и участковых поездов;

m_p, m_i – норма состава соответственно расформировываемых на станции поездов и формируемых на i -е назначение;

U_i – вагонопоток рассматриваемого назначения,

k – количество назначений, формируемых станцией.

При этом стоит отметить, что общая зависимость параметра накопления и, соответственно, затрат на накопление составов отдельного назначения ПФП от вагонопотока этого назначения является нелинейной (рис. 1).

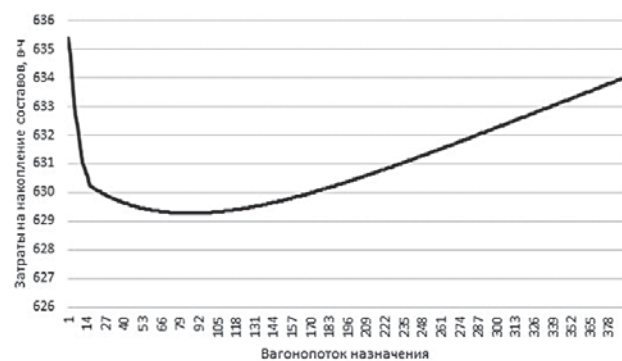


Рис. 1. Зависимость затрат на накопление составов отдельного назначения от вагонопотока этого назначения при $m=57$

В соответствии с [6], колебания вагонопотоков отдельных назначений плана формирования можно выразить с помощью нечетких треугольных чисел вида $U=(u_1, u_2, u_3)$, где u_2 соответствует наиболее ожидаемому в исследуемом диапазоне значению, а u_1 и u_3 – нижней и верхней границам колебаний вагонопотока соответственно. Функция принадлежности этого числа задается формулой:

$$\mu_A(u) = \begin{cases} 0, & u \leq u_1 \\ \left(\frac{u - u_1}{u_2 - u_1} \right), & u_1 \leq u \leq u_2 \\ \left(\frac{u_3 - u}{u_3 - u_2} \right), & u_2 \leq u \leq u_3 \\ 0, & u \geq u_3 \end{cases} \quad (2)$$

где границы находятся следующим образом:

$$u_1 = \frac{p(\bar{u}) \cdot u_{\min} - p(u_{\min}) \cdot \bar{u}}{p(\bar{u}) - p(u_{\min})} \quad (3)$$

$$u_3 = \frac{p(\bar{u}) \cdot u_{max} - p(u_{max}) \cdot \bar{u}}{p(\bar{u}) - p(u_{max})} \quad (4)$$

где \bar{u} – среднее значение вагонопотока; u_{max} – максимальный вагонопоток рассматриваемого периода; u_{min} – минимальный вагонопоток рассматриваемого периода; $p(\bar{u})$, $p(u_{max})$, $p(u_{min})$ – вероятности попадания вагонопотока в интервалы, содержащие среднее, максимальное и минимальное значения вагонопотока соответственно.

Используя зависимость, представленную формулой (1), определить изменения параметра накопления и границы его изменения можно двумя способами. Первый способ являет собой графическое определение диапазона изменений затрат на накопление составов. При наличии нечеткого числа $U=(u_1, u_2, u_3)$, характеризующего колебания вагонопотока отдельного назначения плана формирования, найденные соответствующие им значения cm , ранжируются по возрастанию, формируя нечеткое число вида $cm = (cm_1, cm_2, cm_3)$ (рис. 2).

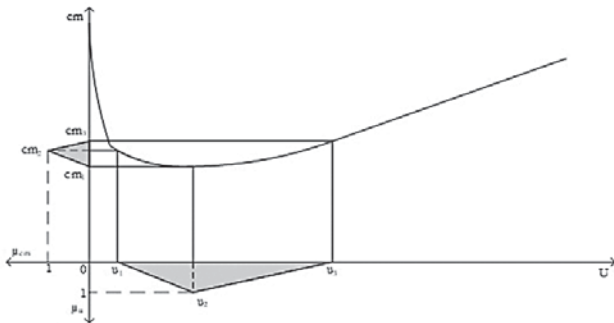


Рис. 2. Определение диапазона изменения cm в зависимости от колебаний вагонопотока назначения

Второй способ представлен в работе [7] и заключается в определении функции принадлежности нечеткого числа, характеризующего изменения параметра накопления в зависимости от колебаний вагонопотоков. Этот способ позволяет более точно определить степени принадлежности отдельных элементов нечеткому множеству s . «Нечеткий» параметр накопления $c = (c_1, c_2, c_3)$ представляется кусочно-линейной функцией принадлежности:

$$\mu(c) = \begin{cases} 0, & c \leq c_1 \\ \frac{c - c_1}{c_2 - c_1}, & c_1 \leq c \leq c_2 \\ \frac{c_3 - c}{c_3 - c_2}, & c_2 \leq c \leq c_3 \\ 0, & c \geq c_3 \end{cases} \quad (5)$$

Используя формулу (1), получим функцию принадлежности следующего вида (при условии равенства составов расформируемых и формируемых поездов):

$$\mu(c) = \begin{cases} 0, & c \leq c_1 \\ \frac{12(1 - \frac{B\sqrt{U}}{(3,1-0,014U)}) - 12(1 - \frac{B\sqrt{U_1}}{(3,1-0,014U_1)})}{12(1 - \frac{B\sqrt{U_2}}{(3,1-0,014U_2)}) - 12(1 - \frac{B\sqrt{U_1}}{(3,1-0,014U_1)})}, & c_1 \leq c \leq c_2 \\ \frac{12(1 - \frac{B\sqrt{U_3}}{(3,1-0,014U_3)}) - 12(1 - \frac{B\sqrt{U}}{(3,1-0,014U)})}{12(1 - \frac{B\sqrt{U_3}}{(3,1-0,014U_3)}) - 12(1 - \frac{B\sqrt{U_2}}{(3,1-0,014U_2)})}, & c_2 \leq c \leq c_3 \\ 0, & c \geq c_3 \end{cases} \quad (6)$$

После преобразований в соответствии с правилами математики функция принадлежности (6) примет вид:

$$\mu(c) = \begin{cases} 0, & c \leq c_1 \\ \frac{(\sqrt{U_1} - \sqrt{U}) \cdot (3,1 - 0,014\sqrt{U \cdot U_1}) \cdot (3,1 + 0,014U_2)}{(\sqrt{U_1} - \sqrt{U_2}) \cdot (3,1 + 0,014U) \cdot (3,1 - 0,014\sqrt{U_1 \cdot U_2})}, & c_1 \leq c \leq c_2 \\ \frac{(\sqrt{U} - \sqrt{U_3}) \cdot (3,1 - 0,014\sqrt{U \cdot U_3}) \cdot (3,1 + 0,014U_2)}{(\sqrt{U_2} - \sqrt{U_3}) \cdot (3,1 + 0,014U) \cdot (3,1 - 0,014\sqrt{U_2 \cdot U_3})}, & c_2 \leq c \leq c_3 \\ 0, & c \geq c_3 \end{cases} \quad (7)$$

Несложно определить, что при условии неравенства составов расформируемых и формируемых на станции поездов, функция принадлежности параметра накопления все равно будет представлена формулой (7). Она показывает, что при расчете плана формирования с учетом переменного характера основных расчетных нормативов изменение параметра накопления составов зависит только от колебаний вагонопотока соответствующего назначения.

Не менее важную роль, чем параметр накопления, в определении эффективности назначений плана формирования играет норматив экономии от проследования вагонами технической станции без переработки $t_{эк}$. В Инструктивных указаниях по организации вагонопотоков на железных дорогах ОАО «РЖД» 2007 г. $t_{эк}$ определяется как разность времени, приходящегося на один проследующий станцию (сортировочную систему) вагон с переработкой и транзитного вагона и обозначается как $t_{пер} - t_{тр}$. Эта величина находится в зависимости от числа перерабатываемых составов и количества формируемых станцией назначений. Результаты моделирования показывают, что экономия от проследования станции без переработки изменяется в пределах от 2,38 ч. до 2,75 ч (рис. 3).

Так как число составов является функцией от вагонопотока, то можно сделать вывод, что и значение норматива экономии времени от проследования вагонами технической станции без переработки зависит от объема вагонопотока. Таким образом, их значения также можно представить в виде нечетких треугольных

чисел. Для $t_{эк}$ способ формирования нечеткого числа, отражающего его изменения, аналогичен представленному на рис.4.

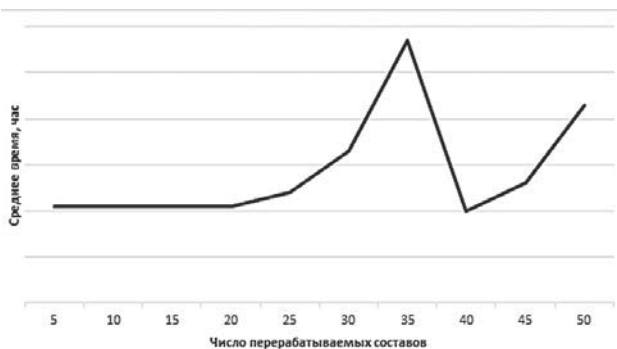


Рис. 3. График зависимости $t_{пер}-t_{тр}$ от числа перерабатываемых на станции составов

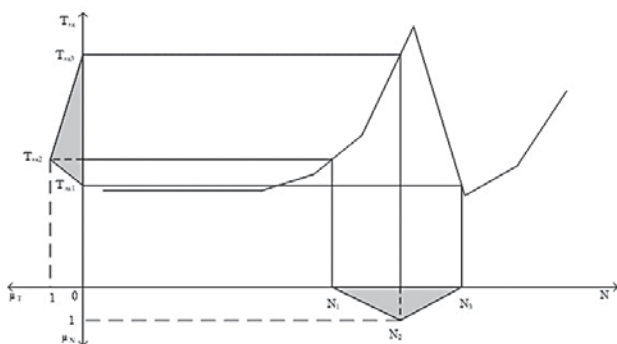


Рис. 4. Определение диапазона изменения $t_{эк}$ в зависимости от колебаний объемов переработки

3. Определение пороговой мощности вагонопотока

С учетом переменного характера cm и $t_{эк}$ общее достаточное и необходимое условия для выделения k -ой струи вагонопотока в поездное назначение примут вид:

$$(cm_1, cm_2, cm_3) \leq (u_1 \cdot t_{эк1}^{min}, u_2 \cdot t_{эк2}^{min}, u_3 \cdot t_{эк3}^{min}) \quad (8)$$

$$(cm_1, cm_2, cm_3) \leq (u_1 \cdot \sum t_{эк1}, u_2 \cdot \sum t_{эк2}, u_3 \cdot \sum t_{эк3}) \quad (9)$$

После проверки струй вагонопотоков по ОДУ (или НУ), они делятся на четыре категории (определяется сразу в процессе расчета):

1. Струя вагонопотока безусловно удовлетворяет условию выделения – струя, минимальный вагонопоток которой с учетом переменного характера расчетных нормативов достаточно велик, чтобы обеспечить выделение ее в назначение плана формирования;
2. Струя вагонопотока безусловно не удовлетворяет условию выделения – струя, максимальный вагонопоток которой с учетом переменного характера расчетных нормативов слишком мал, чтобы обеспечить выделение струи в назначение плана формирования;

3. Струя вагонопотока частично удовлетворяет условию выделения – струя, средний вагонопоток которой не обеспечивает выделения ее в назначение плана формирования, но максимальный вагонопоток удовлетворяет условиям выделения;
4. Струя вагонопотока частично не удовлетворяет условию выделения – струя, средний вагонопоток которой обеспечивает выделение ее в назначение плана формирования, но минимальный вагонопоток не удовлетворяет условиям выделения.

Струи вагонопотоков третьей и четвертой категорий составляют основу вариантов плана формирования, поскольку их колебания оказывают влияние на изменение технологии работы участков и плана формирования поездов. Для струй этих категорий необходимо определить возможность их выделения (или невыделения) в поездное назначение. В этом случае необходимо обратиться к понятию порогового значения вагонопотока на направлении $U_{пор}$. Пороговое значение вагонопотока определяет количество вагонов при заданных условиях пропуска струи вагонопотока на направлении, при котором становится целесообразным выделять ее в назначение плана формирования. При этом, ввиду нечеткого характера затрат на накопление составов cm и экономии от проследования вагонопотоком станции без переработки $t_{эк}$, величина $U_{пор}$ также является нечеткой.

В условиях переменного характера одного или нескольких расчетных параметров плана формирования поездов задачу нахождения пороговой мощности вагонопотока $U_{п}$ можно идентифицировать как задачу принятия решения в нечетких условиях. Такие задачи решаются с помощью подхода Беллмана-Заде, описанный в [8]. Согласно ему, нахождение порогового значения вагонопотока, оптимального в условиях неравномерности, достигается слиянием нечетких целей и ограничений, накладывающихся на эти цели. Предполагая, что мы обладаем информацией не только о колебаниях вагонопотока отдельного назначения плана формирования, выраженных в форме нечеткого числа $U=(u_1, u_2, u_3)$, но и об изменении порогового значения вагонопотока на направлении $U_{п}=(u_{п1}^1, u_{п2}^2, u_{п3}^3)$, рассмотрим нахождение оптимального решения.

1. Постановка нечетких целей (С). На данном шаге необходимо сформулировать нечеткую цель С и определить ее функцию принадлежности μ_c . Нечеткая цель для поставленной задачи сформулирована как «Вагонопоток U должен быть больше $U_{п}$ » либо «Вагонопоток U должен быть меньше $U_{п}$ » в зависимости от того, частично удовлетворяет или не удовлетворяет струя вагонопотока условиям выделения. Нечеткость поставленной цели в данном случае подтверждается не только нечетким характером $U_{п}$, но и неопределенностью самих понятий $>U_{п}$ и $<U_{п}$.

2. Постановка нечетких ограничений (G). Формулируются нечеткие ограничения G и их функции принадлежности μ_G . Нечеткие ограничения должны точно определять зону действия нечеткой цели.

Для частично удовлетворяющих и частично не удовлетворяющих условиям выделения струй вагонопотока будет задаваться по два нечетких ограничения. В случае частично удовлетворяющей условиям выделения струй вагонопотока:

а) «Вагонопоток должен находиться в пределах от U_n до u_{max} »;

Для частично не удовлетворяющей условиям выделения струй вагонопотока нечеткие ограничения будут формулироваться аналогично: «Вагонопоток должен быть в пределах от u_{min} до U_n ».

3. Нечеткое решение D является пересечением нечетких целей и ограничений.

Решением является выбор тех альтернатив K , где функция μ_d достигает своего максимума, то есть которые имеют максимальную принадлежность к D . Тогда четкое субнормальное подмножество D^M из D , определяемое условием

$$\mu_{d^M}(U_n) = \begin{cases} \max \mu_d(u), u \in K \\ 0, u \notin K \end{cases} \quad (10)$$

будет называться оптимальным решением, а каждое u из носителя множества D^M – максимизирующим решением. Таким образом, значение вагонопотока, удовлетворяющее условию (10), и будет являться оптимальным значением пороговой мощности вагонопотока в условиях неравномерности.

4. Заключение

При разработке плана формирования необходимо учитывать не только колебания вагонопотоков назначений, но и переменный характер других расчетных параметров – затрат на накопление составов поездов и экономии от проследования вагонами технической станции без переработки. Приведенная в статье методика позволяет учитывать возможность выделения струй вагонопотока в назначение плана формирования с учетом переменного характера всех расчетных параметров. Показано, что полученное решение, выраженное в виде порогового значения вагонопотока на направлении, является оптимальным в условиях неравномерности.

Литература:

1. Бадецкий А. П. Разработка расчетных вагонопотоков плана формирования поездов с учетом их неравномерности [Текст] / А.П. Бадецкий // Вестник транспорта Поволжья. – 2013. – №3. – С. 53-60.
2. Zadeh. L. A. Fuzzy Sets // Information and Control. – 1965. – Vol. 8. – pp. 338-353.
3. Кудрявцев В.А., Бадецкий А. П. Учет колебаний вагонопотоков при расчете плана формирования поездов [Текст] / В.А. Кудрявцев, А.П. Бадецкий // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2012. – №3. – с. 10-16.
4. Котенко А.Г., Бадецкий А.П., Бессолицын А.С. Определение порогового значения вагонопотока, оптимального в условиях неравномерности [Текст] / А.Г. Котенко, А.П. Бадецкий, А.С. Бессолицын // Вестник транспорта Поволжья. – 2013. – №4. – С.20-27.
5. Инструктивные указания по организации вагонопотоков на железных дорогах ОАО «РЖД». – М.: 2007. – 547 с.
6. Бадецкий А.П., Кудрявцев В.А. Применение теории нечетких множеств в расчете плана формирования поездов [Текст] / А.П. Бадецкий, В.А. Кудрявцев // Транспорт России: проблемы и перспективы-2013. Материалы международной научно-практической конференции. – СПб.: 2013. – С. 128-130.
7. Бадецкий А.П. Влияние колебаний вагонопотока на параметр накопления [Текст] / А.П. Бадецкий // Транспорт России: проблемы и перспективы-2014. Материалы международной научно-практической конференции. – СПб.: 2014. – С. 191-195.
8. Беллман Р. Заде Л. Принятие решений в расплывчатых условиях [Текст]. В кн.: Вопросы анализа и процедуры принятия решений / Р. Беллман, Л. Заде // М.: Мир, 1976. – с. 172-215.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

- **Бадецкий Александр Петрович**
Санкт-Петербург, ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», кафедра «Логистика и коммерческая работа», кандидат технических наук, доцент
alexandr.badetsky@yandex.ru



Эсаулов В.А., Давыдов Б.И., Гопкало В.Н.

Обоснование параметров графика движения грузовых поездов

1. Введение

Пунктуальность движения в грузовом сегменте зависит, главным образом, от интенсивности потока поездов. Кроме того, на характер и параметры рассеяния моментов прибытия влияют текущее состояние инфраструктуры, время суток и погодные условия. Поэтому в основу эффективного способа установления параметров графика грузовых поездов кладется вероятностная модель процесса движения [1]. При построении этой модели учитываются статистические характеристики движения поездов и работы станций, которые получены на основе анализа исторических данных. Результатом использования модели является прогноз характеристик отклонений от графика при данном сценарии развития ситуации на участке управления. На его основе назначаются основные параметры графика – интервалы отправления с технических станций и времена хода по участкам. График движения по железнодорожному направлению формируется путем согласования фрагментов, построенных для всех участков.

В настоящей статье исследуются методические вопросы долгосрочного планирования движения грузовых поездов с учетом критериев пунктуальности и экономической эффективности их пропуска по участку. В разделе 3 предлагается методика анализа исторических данных о движении поездов с применением инструментов статистики. В разделе 4 описывается методика получения времени хода поездов как параметра графика движения на основе вероятностного моделирования. В завершающем разделе обобщаются результаты исследования и намечается направление дальнейшей работы.

2. Обзор литературы

Существуют две принципиально разные группы моделей, связанные с решением задач обеспечения пунктуального следования поездов: детерминированные и стохастические. Аналитический обзор данных моделей приведен в работе [2]. Показано, что первая группа моделей позволяет формировать оптимальный график и осуществлять его эффективную корректировку в реальном времени в случае доминирования

точно определенных факторов. Тем не менее, во многих случаях эффективность прогнозирования поездной ситуации удастся повысить, если использовать стохастическое моделирование с учетом информации, полученной на основе опыта предшествующих наблюдений.

Основные положения детерминированного анализа динамичной поездной ситуации приведены в [3-5]. Рассмотрены пути поиска графических решений, которые минимизируют опоздания, путем построения дискретных моделей и использования методов линейного программирования. Основным недостатком моделирования является отсутствие учета влияния в предстоящих периодах случайных факторов, которые могут нарушить движение.

Указанный недостаток в значительной степени компенсируется, если использовать стохастическое описание процесса движения. В одной из первых работ, рассматривающих эту задачу, предложен аналитический метод для определения опозданий путем свертки распределений исходных (на входе участка) и вновь возникающих задержек [6]. Модели формирования задержек при следовании пакетов поездов по участку с использованием вероятностного подхода, описанные в [7-9], рассматривают полное время хода как сумму случайных интервалов движения по элементам участка. В настоящей статье предлагается новый взгляд на пути разрешения указанных методических трудностей.

3. Исходные положения расчета параметров графика

Основным положением предлагаемой методики корректировки перегонных времен и межпоездных интервалов является использование статистических характеристик операционных времен, полученных при различных типовых сценариях функционирования участка железной дороги. Можно выделить следующие укрупненные сценарии, которые рассматриваются в процессе анализа: движение в ночных и дневных условиях; движение при малых и больших межпоездных интервалах; движение в условиях отсутствия или наличия затруднений (ремонтных окон, временных огра-

ничений скорости), движение в нормальных метеорологических условиях или при ухудшении погоды.

Чтобы оценить степень влияния случайных факторов в чистом виде, проведено исследование статистических характеристик свободного движения грузовых поездов по участкам магистральной железнодорожной линии. Из баз данных исполненного движения выбраны данные о времени проследования поездами выбранного участка дороги в периоды отсутствия технологических «окон», отказов технических средств и других возмущающих факторов. В совокупность отобранных единиц включены поезда, которые проследовали по участку без влияния впереди идущих поездов и неграфиковых остановок.

Установлено, что в январе 2018 в период минимальных закрытий перегонов для проведения технологических работ на двухпутном участке «Облучье – Хабаровск II» протяженностью 360 километров в указанном режиме проследовали 105 поездов нечетного направления и 50 поездов четного направления. В июле 2018, когда наблюдалось большое число ремонтных «окон» по модернизации пути, в том числе многосуточных, на этом же участке зафиксировано 24 поезда нечетного направления и 4 поезда четного направления, проследовавших по участку без неграфиковых остановок.

Как следует из данных, приведенных в Таблице 1, отсутствие явных возмущающих факторов не исключило опозданий поездов по прибытию на конечную станцию участка.

Таблица 1. Показатели выполнения графика движения грузовых поездов

Число поездов на участке О-Х	Периоды 2018 г.	
	январь	июль
<i>проследовавших по участку (четные)</i>	50	4
<i>прибывших по расписанию (четные)</i>	9	0
<i>проследовавших по участку (нечетные)</i>	105	24
<i>прибывших по расписанию (нечетные)</i>	14	5

4. Методика вероятностного моделирования времени хода поездов

Предлагаемая методика моделирования учитывает случайные процессы, которые оказывают влияние на движение поездов. Используя расчетные плотности распределений времени хода по участку, можно обосновать параметры графика, которые обеспечивают заданный уровень пунктуальности. Методика вероятностного моделирования заключается в определении функции аппроксимирующей кривой распределения вероятностей времени хода (межпоездного интервала)

и ее параметров. Исходная статистическая информация извлекается из баз данных исполненного движения грузовых поездов. После построения и обработки вариационного ряда формируются гистограмма и гипотетическая плотность распределения, определяются его параметры. Ранее показано, что рассеяние времени хода поездов по участку дороги адекватно описывается гамма-распределением [10] Для каждого из наборов последовательностей экспериментальных данных проверим статистическую гипотезу о том, что выборка взята из распределения, обладающего гамма-плотностью:

$$l(t; \alpha_1, \beta) = I(t > 0) \frac{e^{-t\beta} t^{\alpha_1 - 1}}{\Gamma(\alpha_1) \beta^{\alpha_1}} \tag{1}$$

где $\alpha_1 > 0, \beta > 0$ – параметры, характеризующие распределение.

Перед авторами стоит задача проверить гипотезу о том, что выборки, соответствующие реальным временам хода поездов, обладают гамма-распределением. Задача решается путем сравнения полученной статистики с критическим значением. В процессе анализа сравниваются эмпирическая и гипотетическая функции распределения.

Для проверки адекватности выдвинутого предположения используется критерий Колмогорова. Критическое значение критерия определяется по формуле

$$\lambda_n(\alpha) \approx \frac{\lambda_\alpha}{\sqrt{n}} \tag{2}$$

где α – уровень значимости критерия, λ_α – корень уравнения

$$1 - K(\lambda) = \alpha \tag{3}$$

где $K(\lambda)$ – функция Колмогорова, n – объем выборки.

Задавшись уровнем значимости $\alpha = 0,1$, имеем значение корня $\lambda_\alpha = 1,224$.

Выводы критерия Колмогорова основаны на значении статистики

$$D_n = \sup_x |F_n(x) - F(x)| \tag{4}$$

где $F_n(x)$ – эмпирическая функция распределения,

$F(x)$ – гипотетическая функция распределения.

Для непосредственного определения значения статистики D_n по выборке определяются параметры гипотетического распределения (1). Интересующую нас случайную величину «время хода» обозначим через ρ . Известно, что

$$E\rho = \alpha_1 \beta, D\rho = \alpha_1 \beta^2 \tag{5}$$

По статистическим данным выборки находится выборочное среднее по формуле

$$\bar{p} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n p_j \tag{6}$$

и выборочное среднеквадратичное отклонение

$$S_0 = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (p_j - \bar{p})^2} \tag{7}$$

Путем постановки в формулу (5) \bar{p} вместо E_p , и S_0^2 вместо D_p , решается система уравнений:

$$\bar{p} = \alpha_1 \beta, S_0^2 = \alpha_1 \beta^2 \quad (8)$$

Указанная система уравнений решается относительно параметров α_1 и β .

Далее, для вычисления статистики D_n требуется построение вариационного ряда, эмпирической функции распределения и формулы гипотетической функции распределения

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(t; \alpha_1, \beta) dt, \quad (9)$$

соответствующей плотности (1).

Следующим шагом является расчет приближенного критического значения критерия для выборки по формуле (2). После проведенных вычислений сравниваются значения статистики и критического значения. В случае превышения численного параметра статистики, гипотеза отвергается. В противном случае выдвигаемая гипотеза не противоречит выборочным статистическим данным. Нормативное время хода, закладываемое в график, определяется, исходя из заданной вероятности выполнения показателя пунктуальности. Определение нормативного времени производится путем интегрирования соответствующего сегмента плотности распределения $f(t_x)$ указанной величины. Известно, что площадь под кривой плотности, отсекаемая значением заданного времени хода t_{x0} , соответствует указанной вероятности. Разработанную методику применяем для анализа реальных данных. Исследуются распределения времени хода поездов по главному ходу Дальневосточной железной дороги на участке Хабаровск II – Облучье. Данные сгруппированы в четыре выборки. Первая и вторая выборки характеризуют поток поездов нечетного направления, следовавших в январе 2018 года. Первая относится к поездам, следовавшим в светлое время суток, вторая – к поездам, следовавшим в темное время суток. Объем первой выборки $n = 55$, объем второй выборки $n = 50$. Третья и четвертая выборки относятся к нечетным поездам, следовавшим в июле 2018 года. Третья и четвертая выборки (размером 16 и 8 единиц) относятся к нечетным поездам, – соответственно дневным и ночным.

Проанализируем процесс движения нечетных поездов, следовавших в январе 2018 г. в светлое время суток. Объем выборки $n = 55$. По статистическим данным выборки находим выборочное среднее по формуле (6) и выборочное среднееквадратичное отклонение по формуле (7):

$$\bar{p} = 367,3; S_0 = 14,3.$$

По формуле (8) получены значения точечных оценок параметров распределения:

$$\alpha_1 \approx 659,8; \beta \approx 0,56.$$

В результате стандартных вычислений определяем величину $D_n = 0,088$. Приближенное критическое значение критерия для данной выборки рассчитано по формуле (2), равно 0,165.

Параметр статистики, равный 0,088 значительно меньше критического значения, равного 0,165. Сравнивая значения, делаем вывод о том, что проверяемая статистическая гипотеза не противоречит выборочным данным по критерию Колмогорова с уровнем значимости 0,1.

На рис. 1 представлены гистограмма и гипотетическая плотность распределения времени хода для рассматриваемых условий.

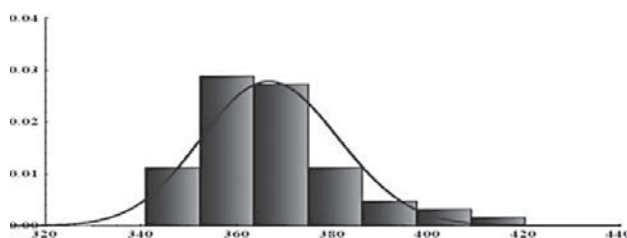


Рис.1. Гистограмма и гипотетическая плотность распределения времени хода (нечетные поезда, светлое время суток)

Задавшись уровнем выполнения графика 95 %, получаем, что необходимо устанавливать графиковое время хода для нечетных поездов для рассмотренного сценария, равное 385 минутам.

Проанализируем процесс движения нечетных поездов, следовавших в январе 2018 г. в темное время суток. Объем выборки составляет 50 единиц. Приведем краткое описание вычислений.

Приближенное критическое значение критерия для данной выборки равно

$$\frac{\lambda_{\alpha}}{\sqrt{n}} = \frac{1,224}{\sqrt{50}} = 0,173$$

По выборке определяются $\bar{p} = 370,1; S_0 = 18,6$.

Решая систему уравнений (8), определяем параметры $\alpha_1 = 395,3; \beta = 0,94$. Рассчитываем значение статистики: $D_n = 0,132$. Значение статистики значительно меньше критического значения, следовательно, проверяемая статистическая гипотеза не противоречит выборочным данным по критерию Колмогорова с уровнем значимости 0,1. Гистограмма и гипотетическая плотность представлены на рис. 2.

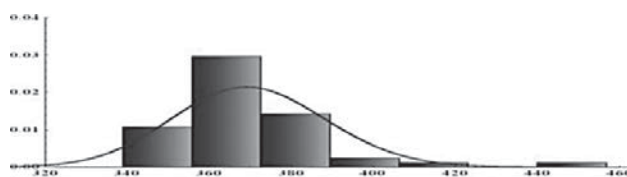


Рис.2. Гистограмма и гипотетическая плотность времени хода (нечетные поезда, темное время суток)

Задавшись уровнем выполнения графика 95 %, получаем, что графиковое время хода для нечетных поез-

дов по участку Хабаровск II – Облучье для рассмотренного сценария составляет 390 минут.

Предложенную методику используем при анализе процесса движения нечетных поездов, проследовавшие в июле 2018 г. в светлое время суток. Объем выборки $n = 16$. Постановка задачи и решение по данной выборке аналогичны предыдущим рассуждениям, поэтому ниже приведено краткое описание вычислений.

Критическое значение критерия для выборки, характеризующей движение нечетных поездов в светлое время, равно

$$\frac{\lambda_{\alpha}}{\sqrt{n}} = \frac{1,224}{\sqrt{16}} = 0,306,$$

значение статистики – $D_n = 0,126$. Значение статистики значительно меньше критического значения, следовательно, проверяемая статистическая гипотеза не противоречит выборочным данным по критерию Колмогорова. Гистограмма и гипотетическая плотность представлены на рис. 3.

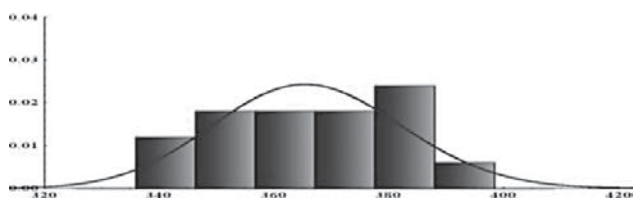


Рис.3. Гистограмма и гипотетическая плотность времен хода (нечетные поезда, светлое время суток)

Задавшись уровнем выполнения графика 95 %, получаем время хода для рассмотренного сценария, равное 385 минутам.

Предложенную методику используем при анализе процесса движения нечетных поездов, проследовавшие в июле 2018 г. в темное время суток. Объем выборки $n = 8$. Постановка задачи и решение по данной выборке аналогичны предыдущим рассуждениям, поэтому ниже приведено краткое описание вычислений.

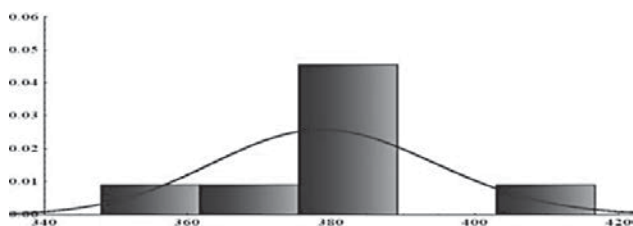


Рис.4. Гистограмма и гипотетическая плотность времен хода (нечетные поезда, темное время суток)

Критическое значение критерия для выборки по нечетным поездам, темному времени суток равно

$$\frac{\lambda_{\alpha}}{\sqrt{n}} = \frac{1,224}{\sqrt{8}} = 0,4327...$$

значение статистики – $D_n = 0,126$. Проверяемая статистическая гипотеза не противоречит выборочным

данным по критерию Колмогорова. Гистограмма и гипотетическая плотность представлены на рис. 4.

При уровне выполнения графика 95 % время хода для нечетных поездов по участку для рассмотренного сценария составляет 395 минут.

5. Выводы и дальнейшие исследования

В рамках настоящей статьи обоснована модель формирования параметров нормативного графика движения на основе использования статистических данных и методов теории вероятностей. Критериями выбора параметров графика служат показатели пунктуальности и эффективности расхода электроэнергии. Практическое применение методики показано на примере участка Хабаровск II – Облучье для возможных сценариев формирования поездопотока при условии беспрепятственного проследования поездов без неграфиковых остановок.

Исторические данные показывают, что нормативное время проследования участка грузовыми поездами выполняется крайне редко. Предположение о том, что локомотивные бригады завышают перегонные времена хода для экономии электроэнергии, статистика опровергает. Следовательно, при равном показателе удельного расхода электроэнергии при различных временах хода, авторами делается акцент на пунктуальности движения грузовых поездов. Проведенным анализом времен хода для двухпутного участка Транссибирской магистрали Хабаровск II – Облучье установлено, что время хода для обоих направлений следования как случайная величина аппроксимируется гамма-распределением. Таким образом, можно сделать вывод: в случае свободного, беспрепятственного хода грузовых поездов по участку Хабаровск II – Облучье характер распределения времени хода не зависит от периода года и времени суток, подчиняется гамма-закону. Сформирована методика, предназначенная для обоснования времени хода грузовых поездов. Гамма-распределение соответствует сценарию свободного хода при отсутствии интенсивных возмущающих факторов, таких, как отказы технических средств, технологические «окна», неприем техническими станциями и другие.

В дальнейших исследованиях планируется изучение других возможных сценариев формирования оперативной обстановки на основе предложенной методики, а также изучение влияния первичных задержек на продвижение плотного поездопотока.

Литература:

1. Вентцель Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Е.С.Вентцель, Л.А.Овчаров. – М.: Высшая школа, 2000. – 480 с.

2. Cacchiani, V., Huisman, D., Kidd, M., Kroon, L., Toth, P., Veelenturf, L., Wagenaar, J., 2014. Overview of recovery models and algorithms for real-time railway rescheduling. *Transportation Research, Part B*, 63, pp. 15-37.
3. Törnquist, J. Computer-based decision support for railway traffic scheduling and dispatching: A review of models and algorithms / J.Törnquist // 5th Workshop on Algorithmic Approaches for Transportation Modelling, Optimization, and Systems (ATMOS'05), Palma de Mallorca, Spain. – 2005. – P.114-127.
4. Сотников, Е.А. Эксплуатационная работа на железных дорогах мира // Е.А.Сотников, И.Н.Шапкин/ Железнодорожный транспорт.– 2009.- №2.- С.72-77.
5. Kestman, P., Goverde, M., and Van den Boom, A. (2011) A Model-Pre-dictive Control Framework for Railway Traffic Management / In: Proc. of the 3th International Seminar on Railway Operations Modelling and Analysis. – pp. 57-72.
6. Лазарев, А. А. Теория расписаний. Задачи железнодорожного планирования /А. А. Лазарев, Е. Г. Мусатова, Е. Р. Гафаров, А. Г. Кварацхелия // М.: ФГБУ науки Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, 2012.– 287 с.
7. Muhlhans, E. (1990) Berechnung der Verspatungsentwicklung bei Zugfahrten [Text] / Eisenbahntechn. Rundschau ETR, 39 (7/8). – pp. 465–468.
8. Carey, M., and Kwiecinski, A. (1994) Stochastic approximation to the effects of headways on knock-on delays of trains [Text] / *Transportation Research, Part B*, 28 (4). – pp. 251-267.
9. Левин, Д.Ю. Теория оперативного управления перевозочным процессом: монография / Д.Ю.Левин // М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008. – 625 с.
10. Davydov, B. Online train traffic adjustments: Probabilistic modeling and estimating / B.Davydov, V.Chebotarev, V.Kablukova // *Advances in Intelligent System and Computing* – 2018. – 631. – P. 50-60.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Эсаулов Вячеслав Александрович**
ОАО «РЖД» Дальневосточная дирекция управления движением-структурное подразделение Центральной дирекции управления движением, диспетчер поездной
esaulov-87@mail.ru
- **Давыдов Борис Израильевич**
Хабаровск, Дальневосточный государственный университет путей сообщения (ДВГУПС), кандидат технических наук, доцент
dbi@rambler.ru
- **Гопкало Вадим Николаевич**
Хабаровск, Дальневосточный государственный университет путей сообщения (ДВГУПС), старший преподаватель
vng@yandex.ru



УДК 656.2+004.75

Ткаченко К.С.

Аналитическое моделирование компьютерного узла системы управления на железнодорожном транспорте

Современные системы управления на железнодорожном транспорте отличаются повышенной сложностью. Они функционируют на основе информационной инфраструктуры. Информационная инфраструктура состоит в том числе и из компьютерных узлов. Компьютерные узлы при работе в неподходящем режиме обрабатывают заявки неэффективно. Это приводит к потерям ресурсов. В работе рассматривается подход на основе аналитического моделирования систем массового обслуживания для параметрической коррекции узла.

Управление железнодорожным транспортом с помощью единой информационно-технической системы позволяет согласовать все составляющие производственных процессов [1]. Модификация иерархических схем в некоторых случаях повышает эффективность управления. Эти модификации можно изучить на основе моделей организации управления.

Производственные планы, основанные на оценках эффективности автоматизации, позволяют функционально улучшить и оптимизировать процессы [2]. Оценки роста эффективности производятся по показателям качества. После этого происходит выбор варианта управления из существующих.

Информационные системы для автоматизации процессов на железнодорожном транспорте должны позволять принимать оперативные решения [3]. Эти оперативные решения находятся в зависимости от внешних факторов. Комплексная выработка управляющих воздействий выполняется после поиска на основе моделей системы.

Известны способы нахождения оптимального времени технического обслуживания железнодорожного транспорта [4]. С использованием этих методов можно улучшить экономические и технологические процессы на железнодорожном транспорте. Улучшение достигается за счет применения избыточности аппаратуры. Избыточность можно уменьшить за счет уменьшения отведенных под нее резервов. Их уменьшение должно соотноситься с заданным уровнем качества функционирования структур железнодорожного транспорта под нагрузкой.

Эффективность деятельности телекоммуникационных систем железнодорожного транспорта может быть повышена изменением процессов управления предоставлением соответствующих услуг [5]. Моделирова-

ние этих процессов позволяют оценить непрерывность предоставления телекоммуникационных услуг и состояние компьютерной инфраструктуры системы. Модернизация телекоммуникационных услуг для устранения возникающих неисправностей требует выполнения с минимальными временными затратами и наименьшего прерывания процессов функционирования. Формирование соответствующих услуг автоматизируется на основе комплексных интегрированных компьютерных систем.

Прогнозирование функционирования оборудования железнодорожного транспорта и оптимизация выработки решений по его эксплуатации достигается использованием программных средств на основе моделирования установок и транспортных систем [6]. Сравнение возможных решений позволяет выбрать из них оптимальное по использованию минимальных резервов технических средств и производить оценки директивных сроков технического обслуживания и модернизации. Снижение эксплуатационных затрат достигается ростом времени пребывания технических объектов в работоспособном состоянии.

Характеристики эффективности компьютерных узлов системы управления на железнодорожном транспорте могут быть оценены на основе аналитических моделей. Для аналитического моделирования компьютерного узла с использованием малого количества доступных ресурсов возможно применить системы массового обслуживания (СМО) [7–12]. Подходящей для этого случая является СМО типа М/М/К/Н, в которой имеется К каналов обработки, буфер N заявок. Интенсивность входного потока заявок λ, производительность обработки заявок μ. Расчет характеристик СМО типа М/М/К/Н производится по формулам:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}, \quad \rho_s = \frac{\rho}{K}, \quad p_0 = \left[1 + \sum_{j=1}^{K-1} \frac{\rho^j}{j!} + \frac{\rho^K (1 - \rho_s^{N+1})}{K!(1 - \rho_s)} \right]^{-1},$$

$$L_q = \frac{\rho^{K+1}}{K \cdot K!} \cdot \frac{1 - \rho_s^N \cdot (N + 1 - \rho_s N)}{(1 - \rho_s)^2} \cdot p_0,$$

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda}, \quad W_s = W_q + \rho(1 - p_{ok}). \quad (1)$$

В формуле (1): интенсивность λ, производительность μ, число каналов обработки K, ограничение

очереди N заявок, ρ – загрузка, ρ_s – загрузка канала, ρ_0 – вероятность простоя, ρ_{otk} – вероятность отказа, L_q – средняя длина очереди, W_q – среднее время пребывания заявки в очереди, W_s – среднее время пребывания заявки в системе.

На основе важнейших модельных характеристик – средней длины очереди L_q , среднего времени пребывания заявки в очереди W_s , вероятности отказа ρ_{otk} – строится целевая функция. Нахождение ее оптимума делает возможным параметрическую узловую коррекцию. Для параметрической коррекции нужна величина оптимальной производительности μ . Поэтому с учетом (1) формируется целевая функция $F_i(\rho)$:

$$F_i(\rho) = C_{otk} \rho_{otk}(\rho) + C_q L_q(\rho) + C_s W_s(\rho). \quad (2)$$

Оптимизационная задача для (2) записывается как:

$$\arg \min_{\mu} F_i(\mu). \quad (3)$$

Задача (3) может быть решена в общем виде. Но для отдельных компьютерных узлов инфраструктуры систем управления железнодорожного транспорта, реализованных на базе компьютерных узлов младших линеек, такое решение будет избыточным, потребует выделения дополнительных ресурсов и изменения аппаратной составляющей. Поэтому функция (2) и задача (3) сводятся к частным случаям путем задания подходящих для компьютерного узла оценок K , N . В частности, для случая $K=3$, $N=9$ получается для (2):

$$F_i(\mu) = \frac{F_i^k(\mu)}{354294\mu^{13} + 236196\lambda\mu^{12} + 59049\lambda^2\mu^{11} - \lambda^{13}}, \quad (4)$$

$$F_i^k(\mu) = \left(\begin{aligned} &354294\lambda\mu^{12} + 236196\lambda^2\mu^{11} + 59049\lambda^3\mu^{10} + \\ &+ 19683\lambda^3\mu^9 - 59049\lambda^4\mu^8 - 3\lambda^{13} \end{aligned} \right) C_s + \\ + (19683\lambda^4\mu^9 - 59049\lambda^5\mu^8) C_q + (3\lambda^{12}\mu - \lambda^{13}) C_{otk}.$$

Соответственно, для (3):

Оптимальное значение производительности $\mu^0 = \mu$ из (5) находится с помощью доступных подпрограмм стандартной библиотеки компьютерного узла, например, метода равномерного поиска или его модификаций. После получения значения μ^0 , это значение может быть установлено системным администратором на компьютерном узле, чтобы узел обеспечивал эффективную обработку информационных потоков в инфраструктуре систем управления железнодорожным транспортом.

С помощью этого подхода становится возможным построить эффективную параметрическую коррекцию компьютерного узла системы управления на железнодорожном транспорте.

Литература:

1. Матюхин В.Г. Концептуальное моделирование процессов управления на железнодорожном транспор-

те / В.Г.Матюхин // Управление большими системами: сборник трудов, №38, 2012. С. 20–35.

2. Гришаков В.Н. Оценка эффективности автоматизации производственных процессов в структуре железнодорожного транспорта / В.Н.Гришаков // Известия Тульского государственного университета. Экономические и юридические науки, №2-1, 2009. С. 152–159.

3. Обухов А.Д. Интеллектуальные технологии в управлении перевозочным процессом на железнодорожном транспорте / А.Д.Обухов // Международный журнал гуманитарных и естественных наук, т.3, №1, 2016. С. 36–39.

4. Бугреев В.А. Математическое моделирование систем и процессов железнодорожного транспорта, обладающих временной избыточностью / В.А.Бугреев, Е.В.Новиков // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество», т.1, 2010. С. 364–366.

5. Ромашкова О.Н. Проблемы моделирования бизнес-процессов телекоммуникационных компаний железнодорожного транспорта / О.Н.Ромашкова, О.Н.Маликова // Т-Comm – Телекоммуникации и Транспорт, №12, 2011. С. 91–93.

6. Бахур С.И. Программный инструментарий моделирования параметров надежности предприятий железнодорожного транспорта / С.И.Бахур, А.А.Алферов и др. // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О.Сухого, № 4 (59), 2014. С. 77–83.

7. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями /Л. Клейнрок. М.: Мир, 1979. 600 с.

8. Гнеденко Б.В. Введение в теорию массового обслуживания / Б.В. Гнеденко, И.Н. Коваленко. М.: Наука, 1966. 432 с.

9. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В.Е. Гмурман. М.: Высш. школа, 1972. 368 с.

10. Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. М.: Наука, 1969. 576 с.

11. Вишневский В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей / В.М. Вишневский. М.: Техносфера, 2004. 512 с.

12. Новиков О.А. Прикладные вопросы теории массового обслуживания / О.А. Новиков, Б.В. Гнеденко, С.И. Петухов. М.: Советское радио, 1969. 398 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

■ **Ткаченко Кирилл Станиславович**
Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», инженер 1-й категории
kstkachenko@sevsu.ru

СЕКЦИЯ №2

УПРАВЛЕНИЕ ИНФРАСТРУКТУРОЙ, ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬЮ, ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

УДК 004.9

Розенберг И.Н., Дулин С.К., Якушев Д.А.

Реализация методов геоинформационного описания техногенных объектов железнодорожного транспорта в экспериментальном программно-техническом комплексе, обеспечивающем геоинформационную поддержку управления перевозочным процессом¹

Одним из важнейших результатов проекта явилось создание цифровой модели пути, 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.

Цифровая модель пути 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. Основопологающим моментом 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, обладающая также инструментарием, позволяющим производить сравнение проектных и фактических данных, загруженных в систему (или преобразованных системой) в виде цифровой модели пути.

Введение

Запущенный ОАО «РЖД» в 2011 году проект высокоточных съемочных работ в настоящий момент покрывает пространственными данными 9000 км эксплуатационной длины железнодорожного пути. Все

данные привязаны к единой высокоточной железнодорожной системе координат и загружены в комплексную систему пространственных данных, находящуюся в промышленной эксплуатации на ГВЦ ОАО «РЖД».

Пространственные данные включают в себя облако точек лазерных отражений от объектов инфраструктуры, трехмерные цифровые модели пути, ортофотопланы в полосе отвода ж.д. пути и используются в структуре холдинга ОАО «РЖД» при решении функциональных задач в сферах [1]:

- 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;
- 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.;

¹ Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект №17-20-02205 офи-м-РЖД)

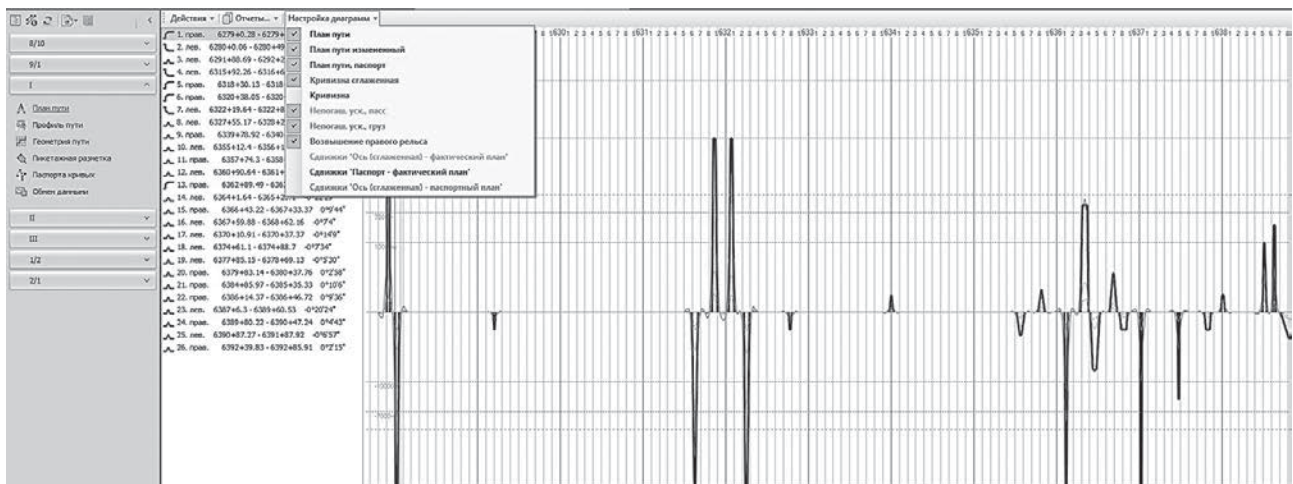


Рис.1. Цифровая модель пути проектного положения участка Туфаново-Бушуиха (МЖД) 628км-640км I путь

- 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;

Методы геоинформационного описания объектов железнодорожного транспорта

Одним из важнейших результатов проекта 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 [2].

ЦМП активно используется для формирования оптимального (проектного) положения пути в едином координатном пространстве и соответственно суще-

ствует возможность точного сравнения проектного положения пути с фактическими данными до и после ремонта. Основопологающим моментом 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, обладающая также инструментарием, позволяющим производить сравнение проектных и фактических данных, загруженных в систему (или преобразованных системой) в виде ЦМП. На рисунке 1 представлен фрагмент ЦМП где синим цветом отмечены кривые участки пути, радиус указан по вертикальной оси.

В случае корректного представления проектных и фактических данных результат сравнения представляется в графическом и табличном виде (рисунки 2-4).

Примечание к рисункам:

- вертикальная ось – расхождения проект/факт в мм;
- горизонтальная ось – линейный пикетаж;
- красным цветом отмечена зона, с расхождениями более 30мм.

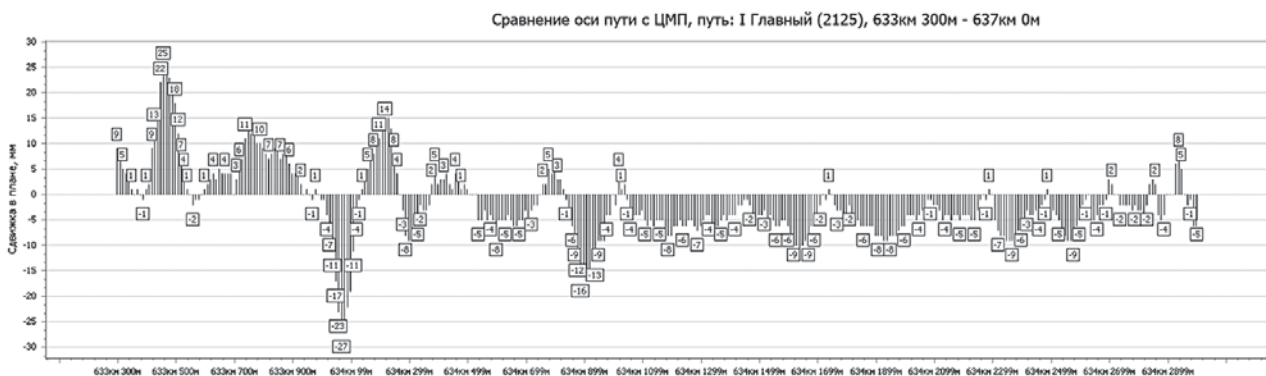


Рис.2. Результат сравнения фактического положения пути после выправки (Gedo 2016г) относительно проекта модернизации 2016г в плане

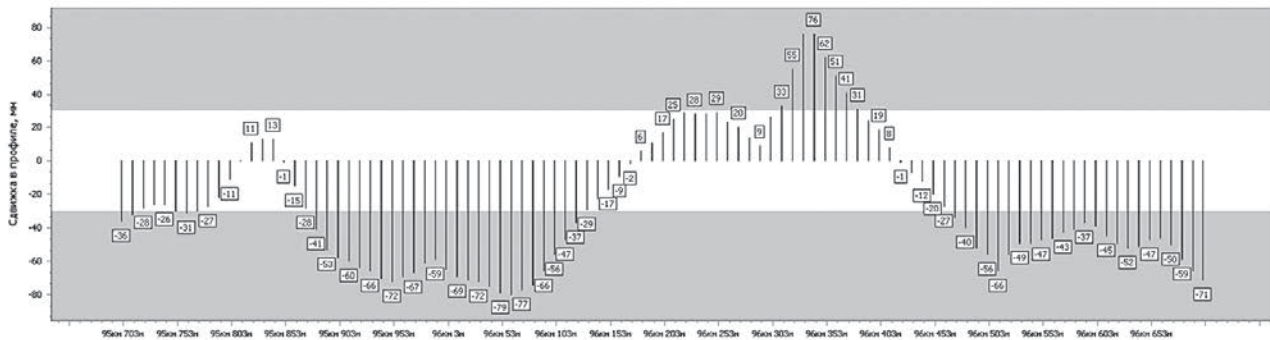


Рис.3. Результат сравнения фактического положения пути после выправки (Gedo 2016г) относительно проекта модернизации 2016г в профиле

ДИ	Горьковское	№ пути	1	от км ПК+	619км 8ПК+42м	до км ПК+	628 км 2ПК+99м
Участок	Шумерля - Вурнары						
Номер проекта	054-16.4_ПЖ	ПМС №	205	ПЧ №	17	Дата съемки	13.05.2017г

Номер опоры контактной сети	Расположение контрольной точки*				Положение пути в плане				Положение пути в профиле			Фактическое возвышение (для круговых и переходных кривых), мм
					Расстояние от контрольной точки до оси пути, мм		Отклонение от проектных значений, мм (гр.6 – гр.7.)	Превышение контрольной точки, мм		Отклонение от проектных значений, мм (гр.9-гр.10)		
					Проектное	Фактическое		Проектное	Фактическое			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
344	619	8	42	2-17-619-58	8109	8130	-21	-676	-775	99	0	
343	619	8	42	2-17-619-57	-2943	-2920	-23	-976	-1075	99	2	
348	619	9	59	2-17-619-60	8037	8031	6	-521	-527	6	1	
347	619	9	59	2-17-619-59	-3039	-3045	6	-529	-535	6	1	
352	620	0	76	2-17-619-62	8372	8386	-14	-793	-835	42	-4	
351	620	0	76	2-17-619-61	-5574	-5561	-13	-774	-816	42	-4	
354	620	1	35	2-17-620-52	8644	8660	-16	-604	-609	5	-2	
353	620	1	36	2-17-620-51	-5636	-5620	-16	-750	-755	5	-2	
356	620	1	93	2-17-620-54	8694	8709	-15	-666	-701	35	2	
355	620	1	96	2-17-620-53	-5616	-5601	-15	-936	-971	35	2	
358	620	2	45	2-17-620-56	9447	9457	-10	-565	-595	30	2	
357	620	2	46	2-17-620-55	-5641	-5632	-9	-878	-908	30	2	
360	620	2	96	2-17-620-58	10313	10321	-8	-933	-878	-55	20	
359	620	2	97	2-17-620-57	-5968	-5960	-8	-993	-938	-55	20	
361	620	3	56	2-17-620-59	-5712	-5712	0	-1511	-1497	-14	18	
362	620	3	57	2-17-620-60	10392	10392	0	-970	-956	-14	18	

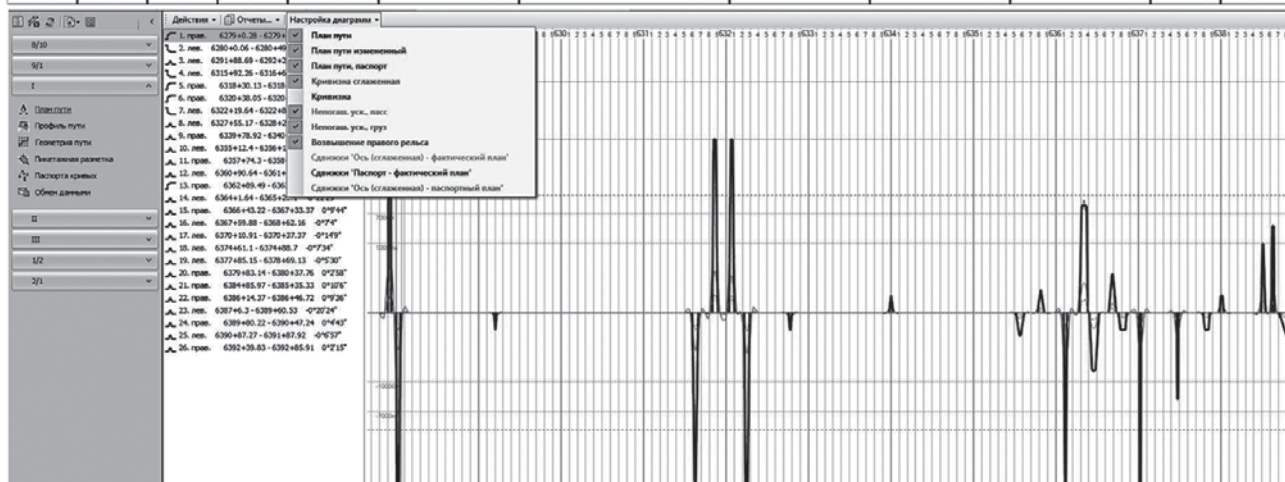


Рис.4. Ведомость исполнительного контроля реализации проектных решений в плане и профиле на участке реконструкции (модернизации) железнодорожного пути с использованием координатных методов

Данные сравнения можно экспортировать в табличный вид и произвести сравнение поколения данных, либо данных выполненных на одном участке пути различными методами. На рисунках 5,6 приведены графики сравнения проекта модернизации в районе Веребинского моста (ОКТЖД) со съемками фактического положения пути, выполненными до реализации проекта методами мобильного лазерного сканирования в 2016г (голубой цвет на графике) и методом традиционной геодезии в 2017г (фиолетовый цвет на графике). А также исполнительная съемка, выполненная путеизмерительной тележкой Gedo сразу после постановки пути в проектное положение в 2017г (красный цвет на графике) и спустя год эксплуатации в 2018г (зеленый цвет на графике).

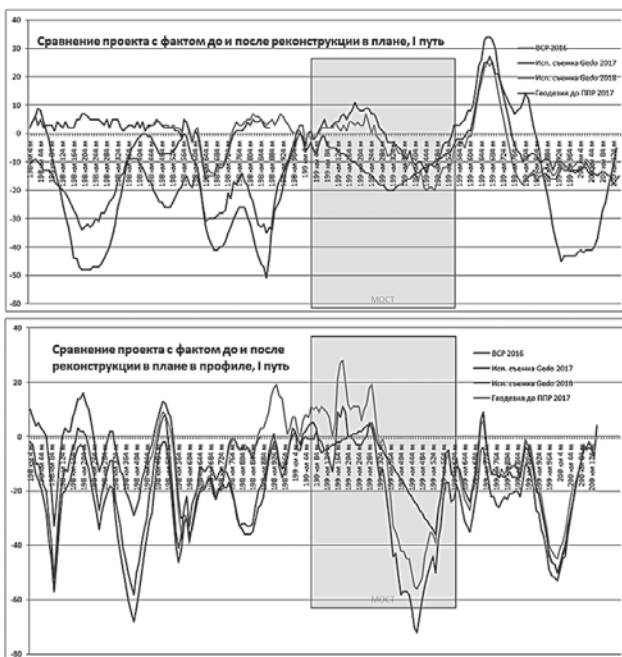


Рис.5,6 Веребинский мост, км198/199 ПК0 – км198/199 ПК6/7, сравнение проекта модернизации со съемками до реализации проекта и после

Результаты сравнения позволяют оценить качество постановки пути в проектное положение с использованием координатных методов.

Однако основные проблемы сравнения проектных и фактических данных проявляются в случае если они выполнены в разных системах координат, либо вообще без привязки к системе координат, либо один и тот же участок модернизации выполняемый разными службами использовал различные геодезические данные.

Игнорирование действующими нормативами принципа единого координатно-временного пространства и отсутствие требований обязательности соблюдения проектного положения в пространстве с заданной точностью ведет к разработке проектов в относительных величинах, используя в качестве точек отсчета не пункты съемочного обоснования, 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.

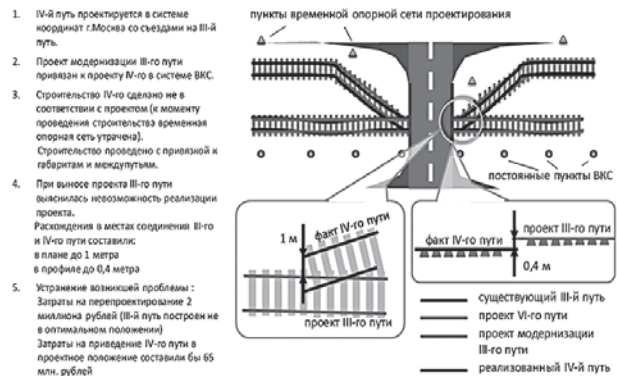


Рис.7. Недостатки существующей технологии (отсутствие единого координатного пространства) на примере строительства IV-го и модернизации III-го пути на участке Москва товарная – Ховрино.

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.

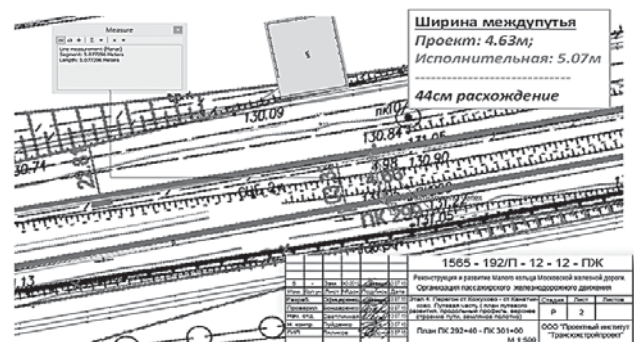


Рис.8. Совмещенное положение пути проекта и исполнительной съемки на участке Кожухово-Канатчиково ПК299 МЦК.

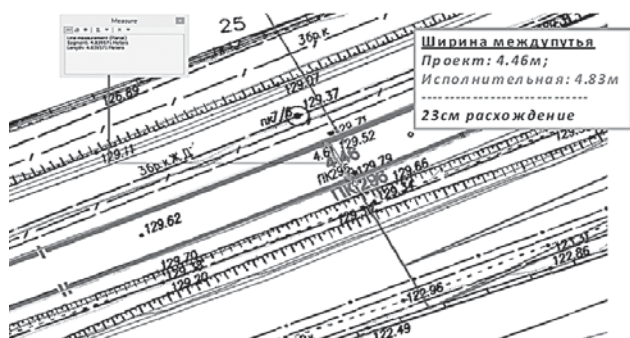


Рис.9. Совмещенное положение пути проекта и исполнительной съемки на участке Кожухово-Канатчиково пк296 МЦК

В случае отсутствия координатной привязки проекта сравнение возможно только после 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) [1,2]. Среднеквадратичная точность такого преобразования составляет десятки 5-50см. 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.

Заключение.

Основной акцент в проекте 17-20-02205 офи-м-РЖД сделан на способах, методике, технологии получения качественной, непротиворечивой исходной информации, являющейся фундаментом для последующих аналитических задач.

Геоинформационное описание техногенных объектов позволяет объективно оценить качество реализации проекта по их модернизации/реконструкции с целью обеспечения максимально эффективного управления перевозочным процессом на конкретном участке пути. Использование координатных методов при создании цифровых моделей объектов инфраструктуры с последующей привязкой к моделям раз-

личного рода информации из АСУ инфраструктурных хозяйств, центров диагностики инфраструктуры и обследовательских комплексов и объединением их в единую геоинформационную систему, предоставляет возможность комплексного информационного моделирования содержания дистанции инфраструктуры в проектном (идеальном) положении.

Литература:

1. Уманский В.И. Технология построения трехмерных моделей железнодорожного полотна в высокоточном координатном пространстве. Сборник докладов 6-ой Международной научно-практической конференции "Геопространственные технологии и сферы их применения". Москва, 2010, с. 66 – 67.
2. Дулина Н.Г., Уманский В.И. Структуризация проблемы улучшения пространственной согласованности баз геоданных. Сообщения по прикладной математике ВЦ РАН. М., 2009, с. 3 – 22.
3. Мельников С.Р. Лазерное сканирование. Новый метод создания трехмерных моделей местности и инженерных объектов // Горн. пром-сть, 2001, 5. С. 3–5.
4. Means J.E., Hopkins P.F., Jensen J.R. et al. Industry and academia explore remote sensing applications // J. For., 2001, 99 (6): 4–6.

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,
кандидат технических наук
d.yakushev@translutstroy.ru.



УДК 004.9

Уманский В.И., Якушев Д.А., Манойло Д.С., Трусов С.В.

Анализ данных современных путеизмерительных комплексов для актуализации цифровой модели железнодорожной инфраструктуры¹

Введение.

Технология 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 трехмерную цифровую модель пути (ЦМП) с заданной точностью в фиксированный промежуток времени, на основании данных, полученных в ходе выполнения высокоточных съемочных работ.

В работе представлены результаты использования альтернативных источников получения данных для построения трехмерной ЦМП, в частности:

- Данные путеизмерительного комплекса Amberg IMS5000, оснащенного лазерным сканером (Amberg Technologies, Швейцария);
- Данные путеизмерительного комплекса LeicaSi TrackOne (Hexagon Geosystems, Швейцария);
- Данные путеизмерительного комплекса GedoScan (TrimbleRailwayGmbH, Германия);
- Данные мобильной лазерной системы АГМ-МС7.2100, установленной на георадарную тележку (АГМ Системс, Россия);
- Лазерные данные диагностического комплекса «ЭРА» (АО НПЦ Инфотранс, Россия).

Целью проведения работ являлся анализ точности данных, полученных в результате измерений одного и того же участка пути (в направлениях «туда» и «обратно»), произведенных различными путеизмерительными комплексами, оснащенными лазерным сканером для ускорения геодезических изысканий и оценки их потенциально использования при создании трехмерных ЦМП.

Программа проведения измерений включала следующие этапы:

1. Проведение съемки одного и того же участка пути в прямом и обратном направлении (измерение №1, измерение №2).

2. Проведение съемки параллельного участка пути, расположенного на соседнем (по возможности) земляном полотне в одном направлении (измерение №3).
 3. Определение допустимых условий съемки испытуемым оборудованием на реальном ж.д. полигоне.
 4. Определение факторов, ограничивающих использование тестируемого оборудования.
 5. Определение «разбега» измерений №1...№3 относительно стационарных объектов.
 6. Определение возможности использования данных измерений для актуализации трехмерных ЦМП.
- Участок тестирования выбирался исходя из следующих соображений:

- Наличие пунктов высокоточной опорной геодезической сети (ОГС) 500–700 м и сети сгущения 60 – 120 м (обязательно);
- Наличие стрелок (обязательно);
- Наличие мостового сооружения (крайне желательно);
- Наличие объектов инфраструктуры - платформы, сооружений и т.д.(крайне желательно);
- Протяженность – не менее 300 м.
- Использование одного и того же участка пути для тестирования всех путеизмерительных комплексов (по возможности, но не обязательно).

Данные путеизмерительного комплекса Amberg IMS5000

На рисунке 1 треугольниками обозначены места расположения марок, по которым координировались точки лазерного сканирования (ТЛО). Красным прицелом обозначены контрольные точки (37-51-1, 37-51-2), закоординированные тахеометром и хорошо определяемые в ТЛО, что позволяет проверить точность проведенных измерений комплексом AmbergIMS5000.

Проверка результатов измерений проводилась путем сравнения полилиний рельс, оцифрованных методом вписывания шаблона рельсы R65 в облако точек лазерного отражения с частотой 10 м, а также отклонением местоположения марок, определенных в ТЛО от их координат, измеренных тахеометром.

¹ Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект №17-20-02153 офи-м-РЖД)

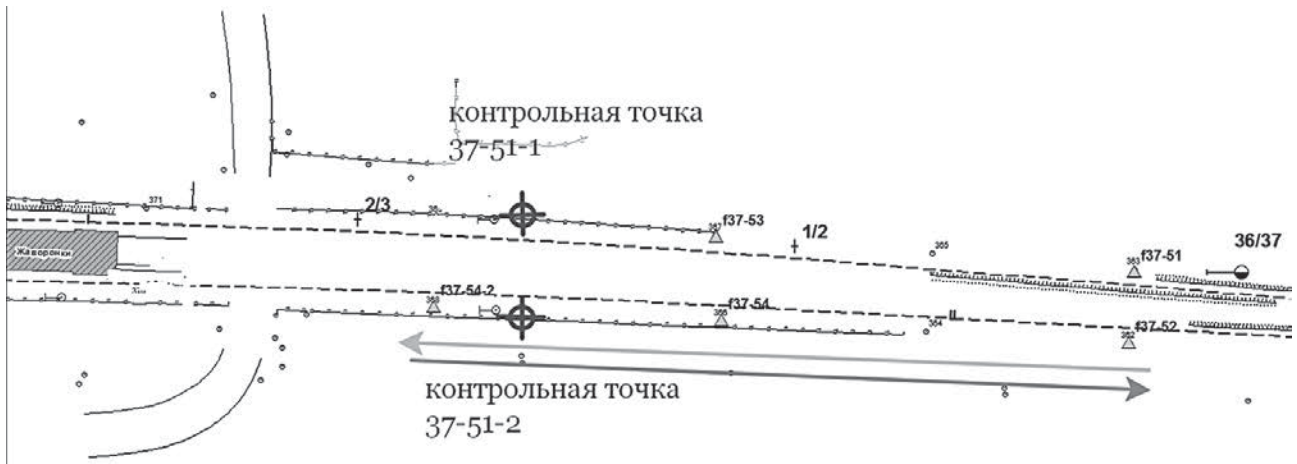


Рис.1. Участок тестирования комплекса Amberg IMS 5000

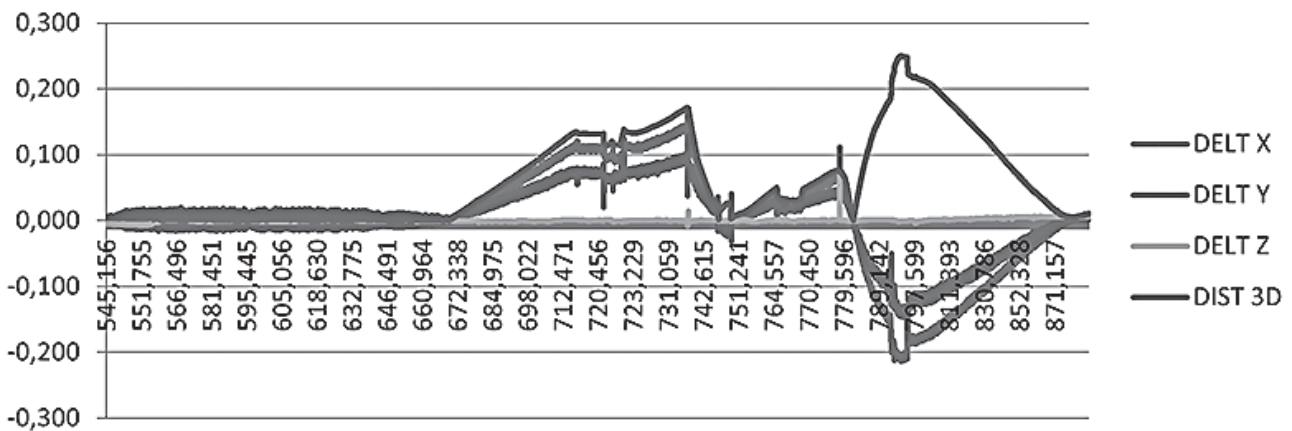


Рис.2. Отклонение измерений пути проездов туда и обратно

Среднее значение разброса измерений между проходами составило 5мм в плане и 17мм по высоте. Стандартное отклонение составляет 1мм в плане и 1мм по высоте (рисунок 2). Сравнение с контрольными точками, определенными тахеометром, дало следующие результаты: отклонение в плане – 19мм, по высоте – 16мм. Ошибки потенциально заложены в технологии постобработки результатов измерений, осуществляемой в ручном режиме путем привязки ТЛО к маркам, у которых размер пикселя которых составляет 20мм.

Сравнение ТЛО, полученных при измерении туда и обратно на стрелках, – неудовлетворительный. Разброс измерений в плане составляет в среднем 60мм, в пиках – 200мм. Проезд стрелок хорошо просматривается на графике в местах резкого скачка между измерениями.

Причиной этого явления является тот факт, что переход через стрелки осуществляется путем отжима прижимного ролика, и это приводит к скачкообразному отклонению траектории, которое не компенсируется инерциальной системой. На рисунке 3 показан момент проезда через стрелку, где красным кружком

отмечен прижимной механизм. Кроме этого, колеса тележки имеют малый диаметр, который не позволяет им ровно «прокатываться» по стрелочному переводу.



Рис.3. Проход стрелочного перевода

Эффект прохода по стрелочным переводам имеет инертность, что вызывает несходимость данных на некотором удалении от него (рисунок 4).

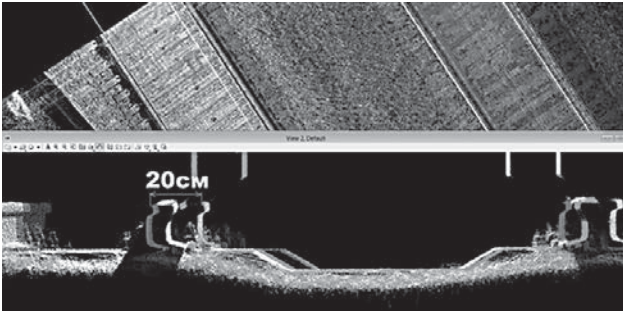


Рис.4. Данные геометрии пути 3D (ТЛО) разных проходов. Участок за стрелочными переводами

Сравнение ТЛО, полученное при измерении туда и обратно на удалении 13 м (соседний путь), дало разброс показаний в плане и по высоте в 6см!!! (рисунок 5). И это говорит о едостаточности стандартной калибровки испытываемого комплекса, проводимой непосредственно перед съемкой.

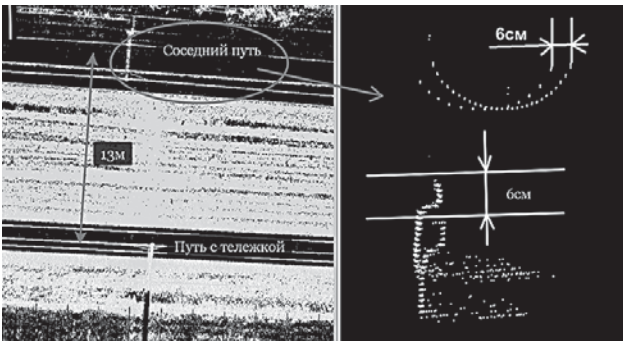


Рис.5. Сравнение ТЛО от измерений туда и обратно на расстоянии 13м от траектории движения комплекса

Данные путеизмерительного комплекса LeicaSiTrackOne

Съёмка данным комплексом может быть проведена 2-мя методами: с использованием стартового и финишного боксов в начале и в конце съемки (рисунок 7), и комбинированным – с использованием позиционирования по GPS и привязкой к маркам с известными координатами. В реальных условиях первый метод неприменим по двум причинам: из-за того, что очень долго засекают координаты каждой из 4-х точек бокса тахеометром и из-за необходимости снова повторять эту процедуру в случае пропуска поезда.

Конструктивная особенность комплекса – наличие дополнительного колеса, позволяющего более плавно проходить стрелочные переводы (рисунок 6).

После камеральной обработки ТЛО, занявшей около 20 дней, получили следующие результаты (рисунки 8, 9)



Рис.6. Дополнительное «колесо» для прохода стрелок



Рис.7. Координирование стартового и финишного боксов.

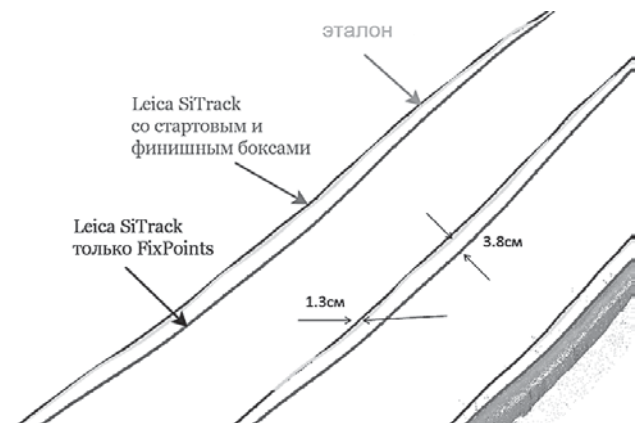


Рис.8. Отклонения измерений, выполненных разными методами от эталона

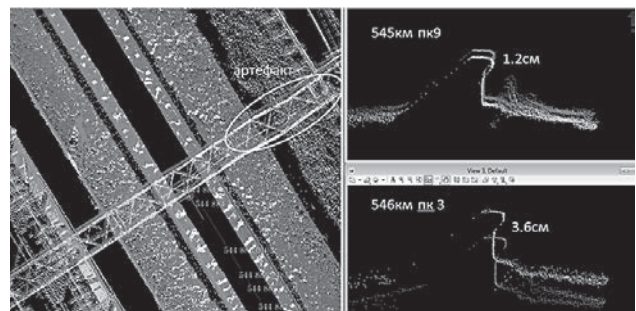


Рис.9. Расхождение проходов «туда и обратно», искажение геометрии объектов

Результаты анализа, сведенные в таблицу 1, говорят о меньшем разбросе значений за счет использования дополнительного (широк) колеса и более низкой (и соответственно более устойчивой) базы измерительного комплекса. Тем не менее ошибки превышают значения, заявленные производителем.

Таблица 1.

Результаты анализа отклонений измерений полученных при разных режимах съемки комплексом Leica SiTrack One

Параметр	Значение отклонения (план/высота)		
Минимальное	0 мм / -80 мм	0 мм / -12 мм	0 мм / -21 мм
Максимальное	100 мм / 40 мм	100 мм / 85 мм	100 мм / 39 мм
Среднее	92 мм / -28 мм	9,5 мм / 38 мм	13 мм / 18 мм
Стандартное отклонение	35 мм / 6 мм	44 мм / 24 мм	52 мм / 14 мм

Данные путеизмерительного комплекса Gedo Scan (Trimble Railway GmbH, Германия).

Тестирование комплекса GedoScan проводилось на полигоне МИИТа (рисунок 10).



Рис.10. Общий вид тележки с установленным сканирующим комплексом

Позиционирование комплекса в процессе его движения осуществлялось с помощью тахеометра, установленного на удалении порядка 100м. Представленные специалистами компании Trimble результаты обработки данных измерений показали ошибки, аналогичные тем, что наблюдались у комплекса Amberg: несходимость данных по проходам в несколько сантиметров и скачки измерений в районе стрелочного перевода.

Данные мобильной лазерной системы АГМ-МС7.2100 (АГМ Системс, Россия).

Съемка пути и объектов инфраструктуры с использованием отечественной сканирующей системы компании АГМ Системс (Краснодар), установленной на георадарную тележку компании «Геотех», проводилась на 7км участке ЮВЖД Прохоровка – Беленихино (рисунок 11).



Рис.11. Общий вид тележки с установленным сканирующим комплексом

Позиционирование осуществлялось спутниковым методом через базовую станцию, установленную на посту ЭЦ ст. Прохоровка и встроенную в комплекс систему ИНС. Участок не содержал стрелочных переводов, но в процессе сканирования несколько раз приходилось снимать систему с железнодорожного пути для пропуска поездов.

Съемка проводилась только в одном направлении, поэтому проверка результатов сканирования осуществлялась методом сравнения с данными традиционных инструментальных наземных измерений, выполненных в тоже самое время. Результаты сравнения представлены на рисунке 12.

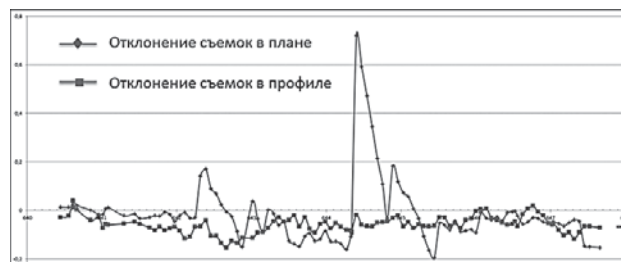


Рис.12. Отклонение измерений, выполненных комплексом АГМ-МС7.2100 и традиционной инструментальной съемкой в плане и по высоте

Анализ графика отклонений (рисунок 12) показывает величины расхождений до 80 см в плане. Выявить какой из видов съемки привнес такие искажения можно, расположив пути определенным образом, что позволяет оценить «ровность» положения пути:



Рис.13. Отклонение измерений, выполненных комплексом АГМ-МС7.2100 и традиционной инструментальной съемкой в плане и по высоте .

Из графика сравнений видно, что ровность результатов комплекса АГМ гораздо выше, чем традиционной съемки, из чего можно сделать однозначный вывод о том, что ряд стоянок электронного тахеометра, используемого при инструментальной съемке, имеет критические ошибки, исправить которые в камеральных условиях не представляется возможным. Необходимо произвести пересъемку всего участка полностью.

Анализ точности съемочных работ по ширине колеи показал, что вычисленная ширина колеи по традиционной съемке колеблется от 1,364 до 1,585 м, общее среднее квадратичное отклонение от стандартной колеи 1,52 составляет $\pm 0,017$ м, тогда как среднее квадратичное отклонение, вычисленное по материалам лазерного сканирования, составляет всего $\pm 0,003$ м (таблица 2).

Высотное положение – наиболее чувствительная характеристика к точности спутниковых определений при производстве лазерного сканирования. Данная проверка проведена по явно видимым в облаке точек основаниям пунктов ОГС и показала расхождение высотных значений ОГС от 0 до, примерно, 2 см в облаке

точек от каталожных значений. Материалы проверки показаны на рисунке 14.

Таблица 2.

Анализ точности съемочных работ по ширине колеи выполненных комплексом АГМ-МС7.2100.

Прохорово-Беленихино через 1м+колея МЛС										
	B	C	D	E	F	G	I	J		
1	1 путь									
2	Левый рельс			Правый рельс						
							колея	Отклонения от 1520		
7691	333428,4302	5653531,52	248,2277	333427,3597	5653532,697	248,2217	1,517	-0,003		
7692	333427,6925	5653530,845	248,23	333426,6216	5653532,023	248,2234	1,517	-0,003		
7693	333426,9552	5653530,17	248,2331	333425,8837	5653531,347	248,2259	1,517	-0,003		
7694	333426,2183	5653529,494	248,237	333425,1461	5653530,671	248,2295	1,517	-0,003		
7695	333425,4818	5653528,819	248,2416	333424,409	5653529,995	248,2339	1,517	-0,003		
7696	333424,7455	5653528,143	248,2468	333423,6724	5653529,318	248,2391	1,516	-0,004		
7697	333424,0092	5653527,466	248,2523	333422,9362	5653528,641	248,2447	1,516	-0,004		
7698							МИН	1,495	-0,025	
7699							МАКС	1,565	0,045	
7700							СКО		0,003	

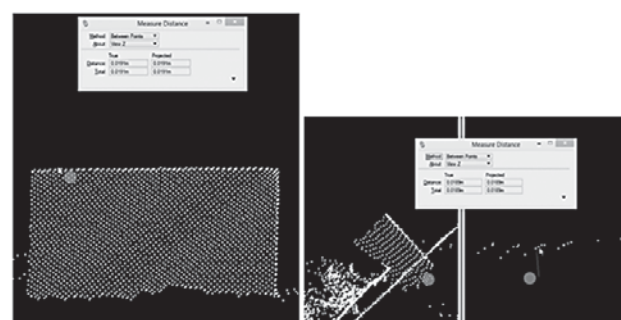


Рис.14. Проверка пунктов ОГС в облаке точек по высоте

Для анализа трудозатрат был проведен хронометраж времени работ, из которого видно, что работа непосредственно на перегоне заняла 2 часа 50 минут. Подготовка комплекса к съемке, установка базовой станции и монтаж сканера занимает 30–50 минут. При традиционном методе работа заняла 3 рабочих дня, т.е. $3 \times 8 = 24$ часа, т.е. более чем в 8 раз дольше.

Лазерные данные диагностического комплекса «ЭРА» (АО НПЦ Инфотранс, Россия).

Диагностические комплексы «ЭРА» оборудованы тремя лазерными сканерами LMS5xxx фирмы SICK, которые позволяют осуществлять пространственное сканирование с частотой 75 Гц. Конструкция размещения сканеров на вагоне спроектирована таким образом, что их рабочие зоны перекрываются, и за счет этого повышается фактическая частота измерений. Заявленная точность измерения – 15 мм, угловая погрешность – 1° , разрешающая способность – ± 4 см в пределах измерений от 1 до 20 м.

При типовой скорости движения комплекса – около 80 км/ч, шаг сканирования составляет 10–20 см. На рисунке 15, для сравнения, представлены данные лазерного сканирования ЭРЫ (слева) и данные мобильного лазерного сканирования комплекса АГМ-МС7.2100 (справа). Видна существенная разница, влияющая на идентификацию сканируемого объекта.

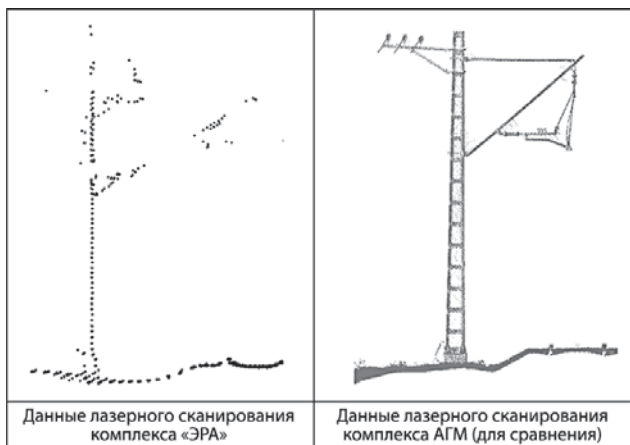


Рис.15. Плотность точек лазерного сканирования от комплекса «ЭРА»

Анализ точности измерений производился по облаку точек, полученных в результате проезда комплекса ЭРА на участке 437-438 км, Санкт-Петербург – Москва с привязкой в дифференциальном режиме коррекции к высокоточной координатной сети (ВКС). Полученные данные сравнивались с трехмерной цифровой моделью пути, построенной по результатам высокоточных съемочных работ и пунктам опорной геодезической сети. Результат сравнения визуально представлен на рисунках 16, 17.



Рис.16. «Сходимость» измерений комплекса «ЭРЫ» при проходе по одному участку пути в направлении «туда» и «обратно»

Как видно из рисунка 15, точность привязки к ВКС данных ЭРЫ составляет порядка 1,2–2,0 м в плане и 15–30 см по высоте. Данные разных проходов на одном и том же участке пути расходятся между собой в плане и по высоте в среднем на 0,7 м (рисунок 16).

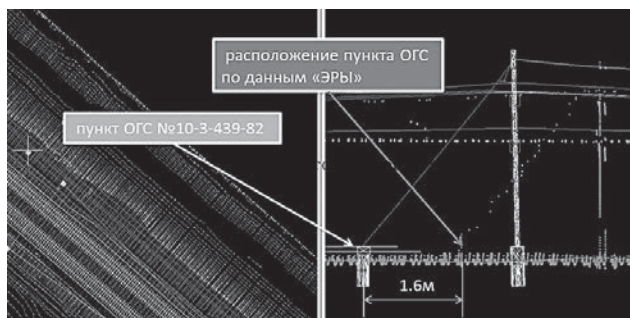


Рис.17. Точность привязки измерений к пунктам опорной геодезической сети

Заключение

Подводя итоги проведенному анализу можно констатировать что, несмотря на разные конструктивы и виды оборудования, результат получился практически идентичный – отрицательный, точностей до 1см нигде не увидели:

- Повторяемость результатов измерений на расстоянии до 5 м от центра сканирования варьируется от 1 до 4 см (на одном и том же участке, одним и тем же оборудованием при съемке «туда» и «обратно»). На расстоянии от 10 м и далее данные расходятся на 5–10 см.
- Время обработки данных: от 2-х суток и более; требуется квалифицированный персонал.
- Абсолютная точность (привязка к пунктам ОГС) – полуавтоматическая, зависит от «человеческого фактора». В среднем: 2 см (для всех путеизмерительных комплексов за исключением «ЭРЫ»).
- На открытых участках местности выгоднее использовать спутниковую навигацию – это менее затратно и точность измерения сравнима с тем, что получается при использовании специальных марок или отражателей.
- При использовании тележки в качестве передвижной техники для лазерного сканирования, дополнительное (широкое) колесо для прохода стрелок – обязательный элемент конструктива тележки.
- Данные от сканера, расположенного под углом к вертикальной оси, более информативные (платформа, например, видна целиком, а не только ее торец).
- Комплексы Gedo, Amberg, Leica очень чувствительны к калибровке инклинометров: данные с удалением от центра съемки разбегаются (хотя заявлена точность – несколько мм).
- Процесс камеральной обработки данных лазерного сканирования не быстрый (во всяком случае, в тестовом режиме), первые данные пришли через 6 дней, окончательные (после обработки в головном офисе) – через 20 дней.
- Лазерные данные путеизмерительных комплексов «ЭРА» имеют недостаточную координатную привязку своих измерений (погрешность может составлять от 0,5 до 3 м). Но сами измерения представляют интерес ввиду их доступности и периодичности (данные актуализируется 2 раза в год).

Проведенные испытания лазерных сканирующих систем позволяют сделать следующие предположения о возможности использования данных, полученных с перечисленных выше комплексов для создания ЦМП:

- Технологически, лазерные сканирующие комплексы значительно сокращают время нахождения полевых бригад на путях с многократным увели-

чением точности и качества получаемых результатов по сравнению с традиционными методами. Относительные точности получаемых измерений превосходят точности материалов, получаемых при проведении традиционной съемки за счет минимизации человеческого фактора. Однако существенный разброс в данных однотипных измерений приводит к необходимости работать в поле погрешностей, превышающем допуски, предъявляемые к построению ЦМП; разработке специфических критериев отбраковки данных или трансформации этих данных к априори известным закоординированным объектам.

- Качество лазерных данных, получаемых в результате одного проезда путеизмерительного вагона «ЭРА», недостаточна для проведения измерений с точностями лучше, чем 20 см. Использование их в качестве источника информации для построения ЦМП в настоящий момент возможно только путем мультитепликсирования данных от нескольких (минимум 3-х) проездов в один и использования методов SLAM для привязки к реперным объектам ВКС с необходимой точностью

Литература:

1. AMBERG TOTAL SOLUTION FOR RAILWAY
<https://ambergtechnologies.com/solutions-services/amberg-rail/>
2. Trimble GEDO Scan System
<http://trimble-railway.com/en/produkt/gedo-scan/>
3. Leica SiTrackOne Rail Maintenance & Refurbishment Solution platforms/sitrack_one
<https://leica-geosystems.com/products/mobile-sensor-platforms/capture->
4. Система мобильного сканирования АГМ-МС7.2100
<https://www.agmsys.ru/mscan/ms7-2100>
5. Автоматизированный диагностический комплекс контроля состояния технических объектов железнодорожной инфраструктуры (АДК-И «ЭРА») <http://www.infotrans-logistic.ru/page.htm?title=%D0%90%D0%94%D0%9A-%D0%98%20%D0%AD%D0%A0%D0%90>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Уманский Владимир Ильич**
Москва, АО «НИИАС», заместитель генерального директора, доктор технических наук
v.umansky@vniias.ru
- **Якушев Дмитрий Алексеевич**
Москва, АО «Транспутьстрой», начальник отдела, кандидат технических наук
d.yakushev@translutstroy.ru
- **Манойло Дмитрий Сергеевич**
Москва, РУТ (МИИТ), доцент кафедры «Геодезия, геоинформатика и навигация», кандидат технических наук
m_dmit@mail.ru
- **Трусов Сергей Владимирович**
Москва, ООО НТК «Сфера», начальник производственного департамента
s.trusov@sphera.msk.ru



УДК 656.212.5

Лябах Н.Н., Рогов С.А., Смирнов Ю.В.

Принципы и инструменты синтеза и функционирования системы поддержки принятия решений на цифровой железнодорожной станции¹

В настоящее время базовой системой автоматизации сортировочных процессов на российских железных дорогах является Комплексная система автоматизации управления сортировочными процессами (КСАУ СП) [1] (рис. 1).

Взаимодействие комплекса с человеком осуществляется посредством функционирования системы поддержки принятия решений (СППР). В действующей на сортировочных станциях страны КСАУ СП подсистема СППР интегрирована с контрольно-диагностическим комплексом (КДК КСАУ СП) (рис. 2).

Задачами СППР в КСАУ СП являются [1]:

1. Обеспечение персонала, обслуживающего сортировочный процесс, необходимыми данными для принятия обоснованных (эффективных и с заданным уровнем безопасности) решений по организации роспуска составов на горке. Решение этой задачи осуществляется на основании мониторинга параметров устройств (в том числе диагностика состояния замед-

лителей и стрелок) – критически влияющих на безопасность, качество, ход роспуска и формирования предупреждений об их нештатном функционировании, в режиме реального времени (см. рис. 1 и 2).



Рис. 2. Структура связи СППР КДК СУ и пользователей

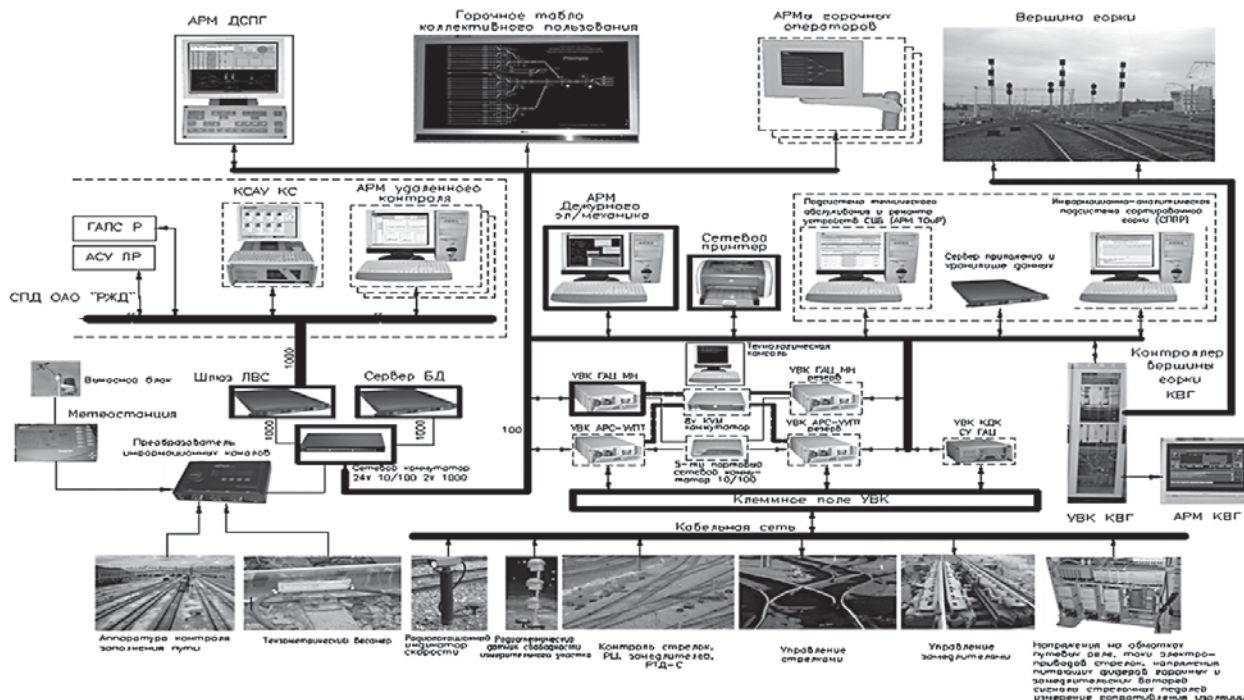


Рис. 1. Состав и структура связей КСАУ СП

¹ Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 17-20-01040)

2. Минимизация количества ошибок при принятии решений за счет значительного увеличения оперативности и достоверности предоставления необходимой статистической и аналитической информации.

3. Систематизация результатов работы сортировочной системы (формируется в виде многомерных OLAP-кубов, см. рис. 3) с прогнозом ее ключевых параметров на будущее (используется инструментарий предикативной аналитики [2]).

4. Расчет моделей и параметров базовых процессов на станции (зависимостей скоростей роспуска и движения отцепов, тормозных усилий замедлителя, длительности и моментов времени включения и отключения торможения и т.д.).

5. Формирование специализированного машинного интеллекта. В частности в рамках данной задачи осуществляются:

- формирование предложений и рекомендаций для оптимизации проведения работ по техническому обслуживанию и ремонту (ТОиР) контролируемых горочных устройств на основе статистического анализа – смещение к профилактическим работам по состоянию устройств (фактическому и прогнозируемому);
- анализ работы оперативно-диспетчерского и эксплуатационного персонала с целью оптимизации технологического процесса.

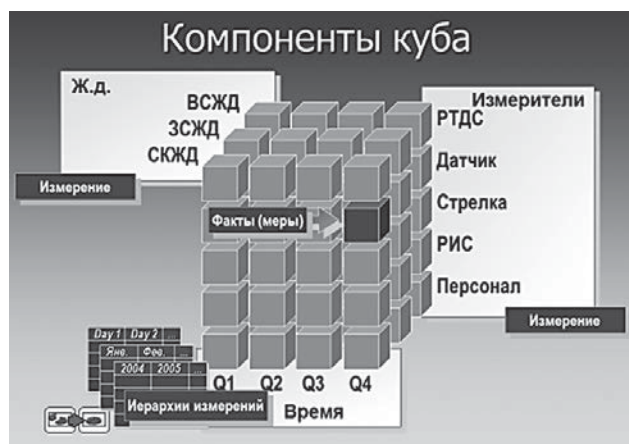


Рис. 3. OLAP-куб СППР КСАУ СП

Реализация на сортировочной станции (СС) концепций цифровой экономики (ЦЭ) и, как следствие, цифровой железной дороги (ЦЖД) [3] предъявляет новые требования к разработке соответствующей СППР. Именно СППР, наделяя автоматизированные системы управления сортировочными процессами искусственным интеллектом (ИИ) [4], обеспечивает превращение СС в киберфизическую систему [5] – цифровую станцию (ЦС) [6].

Переход к цифровым технологиям позволяет осуществить революционные преобразования СППР. Ис-

пользование платформенного принципа организации транспортного производства [3], идей концепции «Индустрия 4.0» [7], мультиагентных систем (МАС) [8], интернета вещей и сервисов [9], технологий Big Data и Data Mining [10], надж технологий, предикативного моделирования [2], блокчейна [11] и др. аспектов ЦЭ существенным образом меняет роль и значение, логику и содержание функционирования СППР КСАУ СП.

Рассмотрим сущность некоторых выше названных систем и технологий через призму разрабатываемой СППР.

Интернет вещей в СППР – это не просто множество различных приборов и исполнительных устройств, объединенных между собой проводными и беспроводными каналами связи и подключенных к информационно-вычислительной сети (что уже сделано в КСАУ СП в рамках концепции автоматизации), а это более тесная интеграция реального и виртуального миров, в котором общение производится между людьми и устройствами.

К задачам, решаемым в СППР методами «больших данных» (Big Data) относят (см. рис. 2): сбор данных, хранение данных (построение сложных хранилищ данных) – см. рис. 4, работа с данными (агрегация, анализ, описание), выявление взаимосвязей и построение трендов (возможно, с конечной целью предсказания).



Рис. 4. Построение хранилищ данных в КСАУ СП

Вот характерный пример [6]. В настоящее время в каждом роспуске каждый отцеп рассматривается как вновь прибывший, а ведь, как правило, многие из них обращались по этой станции неоднократно. Информация о них есть (о ходовых свойствах, о техническом состоянии) из предыдущих роспусков, но она не структурирована. Найти и использовать ее не удастся. Технологии Big Data легко решают эту проблему.

Методы класса Data Mining, что означает добыча данных, интеллектуальный анализ данных, глубинный анализ данных в СППР служат для обучения ассоциа-

тивными правилами, классификации (разбиение отцепов на классы, сотрудников на категории), для проведения кластерного анализа, регрессионного анализа, обнаружения и анализа отклонений и др. [4].

С помощью МАС реализуется интернет вещей, обеспечивающий взаимодействие объектов инфраструктуры и обслуживающего персонала станции.

Приведем два наглядных примера такой МАС:

1. Подсистема мониторинга и прогнозного технического обслуживания объектов инфраструктуры станции (локомотивов, компрессорных станций, замедлителей, стрелок и другого оборудования станции). В качестве агентов этой МАС выступают выше названные объекты, а также обслуживающий персонал станции. Тем самым два уровня управления (технический и организационный) объединяются в единую систему.

Анализируя работу объектов инфраструктуры (вагонов, локомотивов, замедлителей, компрессорных станций и т.д.) средствами предикативной аналитики организуется их прогнозируемое техническое обслуживание и ремонт.

2. Важным приложением теории МАС также является решение задачи маневровых передвижений в парке формирования составов. Здесь в качестве агентов выступают маневровые локомотивы. Каждый агент в зоне своей достижимости анализирует сбой, возникшие в парке формирования составов («окна» между отцепами, «чужаки»). В результате выдается информация о параметрах процесса нормализации каждого сбоя (необходимое время, энергетические ресурсы, попутные эффекты, связанные с реализацией сбоя). Ликвидация сбоя «поручается» тому локомотиву-агенту, который осуществит его лучшим образом.

Разрабатываемая СППР опирается на методы когнитивного моделирования [12]. Когнитивное моделирование предназначено для выявления знаний о сложных системах, каковыми и являются сортировочная станция и КСАУ СП, предвидения (в частности, прогнозирования) возможных путей их развития, управления деятельностью (сортировочным процессом) и развитием сложных систем (превращение сортировочной станции в ЦС).

Когнитивные технологии – это программные и аппаратные средства, которые имитируют работу человеческого мозга. Применение методологии когнитивного моделирования сложных систем для исследования и проектирования СППР позволяет формализовать и транслировать в технические системы естественный интеллект специалистов по разработке и эксплуатации СС, а также генерировать машинный интеллект.

Кроме того в СППР ЦС в рамках идеологии искусственного интеллекта (ИИ) планируется реализовать следующие процедуры:

- *Инсайта* (выявление неочевидных закономерностей на массивах больших данных – технологии Big Data и Data Mining). Форма реализации: «внезапное» осознание возникновения новых закономерностей при реализации сортировочной работы (). Отличие от хорошо известной и уже реализуемой в КСАУ СП работы с OLAP-кубом (рис. 3) состоит в том, что в последнем случае человек сам задает отыскиваемую закономерность (например, сформировать статистику сбоев системы по сменам, по видам оборудования и т.д.). То есть, в СППР ЦС традиционный OLAP-куб мы интегрируем с технологиями теории протекания (теории перколяции) [13].
- *Рефлексии*. Традиционно рефлексия учитывается во взаимодействии двух субъектов. Обратившись к рис. 1 напомним критические отношения между заинтересованными сторонами (например: между разработчиками и пользователями КСАУ СП, между движенцами и СЦБистами, ...). Учет рефлексии поможет регламентировать эти отношения: вывести их из области «искусства убеждения» в сферу детерминированных алгоритмов принятия решений.
- *Принятие решений по аналогии*. Сферы применения: обучение специалистов (в направлениях от человека к человеку, от машины к человеку), обучение машины (трансляция ей естественного интеллекта).
- *Контекстное принятие решений* (машина подобно человеку при анализе допустимых решений учитывает контекст ситуации). Примеры контекстного принятия решений человеком в СППР ЦС:
 - при организации отпуска состава нет необходимости ускорять его, если нет достаточной загрузки системы;
 - при организации работы обслуживающего персонала учитываются психоэмоциональные и физиологические параметры участников работ (команды подбираются с учетом их психологической и профессиональной совместимости).

Выводы:

1. Показаны роль и место СППР в КСАУ СП и работе сортировочных станций.
2. Сформулированы задачи СППР в рамках создания цифровой железнодорожной станции.
3. Рассмотрены принципы цифровой экономики через призму синтеза СППР КСАУ СП.
4. Рассмотрена сущность технологий цифровой экономики, используемых в обновленной СППР ЦС.

Литература:

1. Шабельников А.Н. Комплексная система автоматизированного управления сортировочными процессами – инновационный проект российских желез-

- ных дорог: Монография. – Москва: ВИНТИ РАН, 2016. – 242 с.
2. Чугреев В. Л., Баданин Д. А. Использование прогнозной аналитики в информационно-аналитических системах поддержки принятия решений // Молодой ученый. – 2016. – №6. – С. 49-52.
 3. Розенберг Е. Н., Уманский В. И., Дзюба Ю. В. Цифровая экономика и цифровая железная дорога // Транспорт РФ. 2017. № 5 (72). С. 45–49.
 4. 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.
 5. Sanfelice R. G. Analysis and Design of Cyber-Physical Systems. A Hybrid Control Systems Approach // Cyber-Physical Systems: From Theory to Practice / D. Rawat, J. Rodrigues, I. Stojmenovic. – CRC Press, 2016. – ISBN 978-1-4822-6333-6.
 6. Розенберг И.Н., Шабельников А. Н. Цифровая сортировочная станция. – Москва. Железнодорожный транспорт. 2018г. №10, С. 13-17.
 7. Шваб К. Четвертая промышленная революция / К. Шваб – «Эксмо», 2016 – (Top Business Awards) ISBN 978-5-699-90556-0.
 8. Michael Wooldridge, An Introduction to Multi Agent Systems, John Wiley & Sons Ltd, 2002, paperback, 366 pages, ISBN 0-471-49691-X.
 9. Olivier Hersent, David Boswarthick, Omar Elloumi. The Internet of Things: Key Applications and Protocols. – Willey, 2012. – 370 p. – ISBN 978-1119994350.
 10. Паклин Н. Б., Орешков В. И. Бизнес-аналитика: от данных к знаниям. – СПб.: Изд. Питер, 2009. – 624 с.
 11. Банщикова А.А., Кудрявцев К.В., Ковалев А.Ю. Возможности применения технологии блокчейн при перевозке грузов в международном сообщении // Мир транспорта, том 16, № 3, 2018. С. 134 – 154.
 12. Galina Victorovna Gorelova, Nikolay Nikolaevich Lyabach, Saida Kazbekovna Kuizheva. Application of Cognitive Modeling in the Study of the Interrelations between the Educational system and Society / Espacios. Vol. 38 №65 2017.
 13. Тарасевич Ю. Ю. Перколяция: теория, приложения, алгоритмы: Учебное пособие – М.: Едиториал УРСС, 2002. – 112 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Лябах Николай Николаевич**
Ростов-на-Дону, филиал АО «НИИАС»,
заместитель начальника Центра
инновационных и интеллектуальных технологий
на железнодорожном транспорте, д.т.н., профессор
liabakh@rambler.ru
- **Рогов Станислав Александрович**
Ростов-на-Дону, филиал АО «НИИАС»,
начальник отдела СПИР
rogov@rfniias.ru
- **Смирнов Юрий Владимирович**
Ростов-на-Дону, филиал АО «НИИАС»,
инженер сектора разработки программных продуктов
usmirnov@rfniias.ru



Ольгейзер И. А.

Цифровой двойник сортировочной горки¹

Специалистами АО «НИИАС» накоплен огромный опыт в части разработки и внедрения систем автоматизации процессов переработки вагонопотока на железнодорожных сортировочных станциях.

Накопленный опыт показывает актуальность и необходимость моделирования объектов инфраструктуры до проведения проектных работ с целью определения технических решений и технических условий при формировании заданий на проектирование по реконструкции, модернизации, и новому строительству данных объектов

В целях моделирования наиболее оптимальных режимов работы объекта автоматизации (в зависимости от конкретной ситуации и выбранного критерия оптимизации и анализа возможности оптимизации численности персонала, обслуживающего и управляющего объектом) ведется разработка цифровых двойников как элементов станционной инфраструктуры, так и сортировочной горки в целом – как наиболее сложной в плане автоматизации процессов и обеспечения безопасности части сортировочной станции.

Создание цифровых двойников элементов железнодорожной инфраструктуры и подвижного состава является логичным развитием концепции цифровой станции и технологии промышленного интернета вещей.

Цифровой двойник (*digital twin*) – это перенесенный в цифровую среду двойник физического устройства, процесса или системы. Цифровой двойник – это математическая модель высокого уровня адекватности, которая позволяет с большой точностью описывать поведение объекта во всех ситуациях, на всех этапах жизненного цикла, включая аварийные. Применение цифровых двойников позволяет быстро смоделировать развитие событий в зависимости от тех или иных факторов, определить потенциальные риски, найти наиболее эффективные режимы работы, выстроить шаги по обеспечению безопасности [1].

Цифровой двойник создается как копия физического объекта с помощью информации со всех доступных устройств и датчиков с учетом принципов изоморфизма. Под изоморфизмом в данном случае следует понимать соответствие каждой точки множества состояний реального объекта определенной точке множества

состояний цифрового двойника. При этом, обратное отображение тоже справедливо (взаимно-однозначное отображение). Графически это можно представить следующим образом (рис. 1).

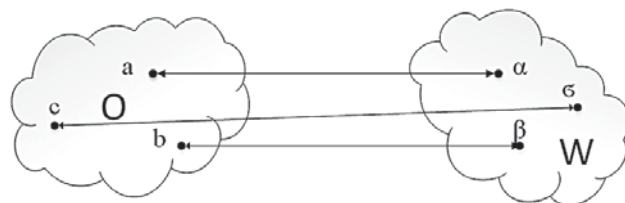


Рис.1. Взаимно-однозначное отображение состояний реального объекта и цифрового двойника

где O – множество состояний реального объекта,
 T – множество состояний цифрового двойника,
 a, b, c – конкретные состояния реального объекта,
 α, β, δ – соответствующие им состояния цифрового двойника.

В алгебраическом смысле, это означает, что для любых $a, b, c \in O$ существует функция

$$f(a) = \alpha, f(b) = \beta, f(c) = \delta \dots \quad (1)$$

По сути, (1) означает, что цифровой двойник (T) способен учитывать все факторы, влияющие на реальный объект. Таким образом, рассчитав функцию f , появляется возможность не только обеспечить полное соответствие цифрового двойника реальному объекту, но и моделировать различные варианты развития технологического процесса на цифровом двойнике, с высокой степенью достоверности имитируя их прохождение на реальном объекте. Появляется возможность анализировать, тестировать и оптимизировать цифровую копию реального объекта, минимизируя при этом риски и потери при необходимости вернуть внесенные изменения. На реальном объекте же используется модель оптимизации после ее отладки на цифровом двойнике.

На реальном объекте железнодорожной инфраструктуры, а именно на сортировочной горке, получить в аналитическом виде функцию $f(1)$ с требуемой точностью зачастую не представляется возможным по причине большого количества влияющих факторов, для измерения влияния которых отсутствуют необходимые средства измерения, либо время их измерения

¹ Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 17-20-01040)

превышает допустимое с учетом необходимости оперативного принятия решения.

Предлагается разделить данную задачу на несколько итераций. При этом на первом шаге используются известные (легко измеряемые) параметры для построения аналитической зависимости. На последующих же итерациях, используя теорию подобия [2], стохастический подход для аппроксимации неизвестных (недоступных к измерению) параметров и накопленную статистику по работе реального объекта, предлагается уточнять полученную на первом шаге аналитическую зависимость. В качестве переменных для уточнения аналитической зависимости предлагается применять безразмерные коэффициенты.

Таким образом, построенная на первом шаге по известным параметрам упрощенная функция f_p скорости скатывания отцепа, в общем виде может выглядеть так:

$$f_p(V) = \sqrt{V_n^2 + 2 \cdot l_{\text{уч}} (i - w_o + w_{\text{cp}})} \cdot 10^{-3} \quad (2)$$

где i – уклон продольного профиля участка пути;

w_o – удельное сопротивление качению;

w_{cp} – удельное сопротивление среды;

$l_{\text{уч}}$ – длина исследуемого участка пути;

При этом, в формуле (2) коэффициенты w_o и w_{cp} , по сути как раз и представляют собой безразмерные коэффициенты, которые зависят от ряда трудно формализуемых факторов и требуют уточнения в ходе итераций по уточнению моделей исследуемых процессов и, по сути, могут являться критериями подобия [3].

Удельное сопротивление среды w_{cp} зависит от текущего сочетания погодных-климатических факторов (скорость и направление ветра, температура воздуха, влажность, количество и вид осадков и т.п.). Проблемы, пути решения и методы определения влияния погодных-климатических факторов подробно рассмотрены в работе [4].

Предлагаются две альтернативные процедуры моделирования исследуемого процесса:

По статистическим данным строится регрессионная зависимость вида

$$V = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (3)$$

Пространство признаков x_n разбивается на однородные области значений. Для каждой из них назначается свой коэффициент w_{cp} .

Условиями применения первого подхода при построении (3) традиционными регрессионными методами являются [5]:

- значение факторов x_i должны быть заданы без погрешностей;
- факторы x_i должны быть независимы относительно друг друга;
- наблюдавшиеся значения выходной переменной V должны быть некоррелированными между собой;
- заранее известная корректная форма уравнения регрессии;
- ошибки наблюдений ϵ должны быть распределены по нормальному закону с математическим ожиданием, равным нулю и постоянной дисперсией;
- объем выборки наблюдений должен быть достаточен для получения статистически обоснованных выводов.

Очевидно, что эти условия, как правило, не выполняются для реальных объектов автоматизации сортировочных процессов и поэтому данный метод имеет ограниченное применение.

Второй подход приводит к задачам классификации [6]:

- а) автоматическая классификация позволяет осуществить объективный выбор однородных областей (например методы K – внутригрупповых средних и потенциальных функций по причине нестационарности погодных условий и состояния технических устройств).
- б) классификация «с учителем» требует выбора и разработки методов идентификации решающего правила.

Проведенный анализ показывает необходимость использования для этой цели адаптивных методов поиска решений по результатам статистических наблюдений, т.к. процессы изменения погодных условий и состояние технических устройств по сути отражены в накопленной статистике по работе реального объекта автоматизации.



Рис.2. 3D визуализация цифрового двойника нечетной сортировочной горки станции Кинель Куйбышевской ж.д.

В результате механизм «настройки» цифрового двойника сортировочной горки будет выглядеть так: сначала строится зависимость (2), а потом во время обучения по накопленным статистическим данным многократно корректируются коэффициенты w до приемлемого уровня совпадения с «оригиналом».

Пример трехмерной визуализации цифрового двойника автоматизированной железнодорожной сортировочной горки станции Кинель Куйбышевской железной дороги представлен на рис. 2.

Планируется использование полученного цифрового двойника при проектировании автоматизированных сортировочных горок.

Основная ценность цифрового двойника – это точное соответствие динамических процессов и жизненного цикла оригинала.

Цифровой двойник объекта автоматизации АСУ ТП на разных этапах жизненного цикла позволит:

- *на этапе проектирования* проверить корректность технических решений по увязке и подключению оборудования, сократив время на устранение ошибок;
- *на этапе внедрения* отладить ошибки монтажа на модели до комплексного опробования на реальном объекте автоматизации;
- *на этапе пусконаладочных работ* и комплексного опробования моделировать требуемые испытания заранее на цифровом двойнике для повышения безопасности;
- *на этапе эксплуатации* уточнять модели устройств и проводить обучение эксплуатирующего персонала использованию, управлению и обслуживанию системы на цифровом двойнике объекта параллельно его функционированию с максимальным приближением к реальности и полной безопасностью.

С учетом трехмерной визуализации хода технологических процессов появляется реальная возможность дистанционного обучения, переобучения, повышения квалификации и управления технологическими процессами со сколь угодно удаленных рабочих мест.

Кроме того, цифровой двойник позволяет использовать технологии дополненной реальности: показывать прогнозируемые производственные результаты работы станции (то есть отражать обслуживающему персоналу информацию о том, что будет на различных горизонтах планирования работ), отражать текущее состояние и давать прогноз состояния объектов инфраструктуры станции (например, каков остаточный ресурс компрессорной станции и когда необходимо провести ее техническое обслуживание). Цифровой двойник, работающий параллельно с реальным процессом, сам является средством дополненной реальности и расширяет возможности управления на всех уровнях.

В итоге, применение цифровых двойников улучшает экономические показатели работы объекта, снижает стоимость обслуживания – «владения» (ТСО – Total Cost of Ownership), повышает безопасность, обеспечивает интерактивность взаимодействия для возможности предупреждения о внештатных ситуациях и выходе за допустимые пределы функционирования параметров выполнения процессов.

В такой ситуации цифровой двойник, по мере накопления в своем составе элементов – цифровых копий устройств инфраструктуры, статистики по их функционированию в различное время года и с различной нагрузкой, за счет огромного множества зафиксированных вариантов их взаимодействия становится по существу полноценным носителем искусственного интеллекта.

При помощи разработанного цифрового двойника планируется проводить отладку разрабатываемого программного обеспечения, имитацию различных нестандартных ситуаций и определение граничных параметров функционирования того или иного объекта или элемента инфраструктуры.

Литература:

1. Розенберг И.Н., Шабельников А.Н., Ольгейзер И.А. Разработка платформы создания цифровых двойников инфраструктурных объектов. Железнодорожный транспорт. №9. Москва. 2019 г.
2. Гухман А.А. Введение в теорию подобия. Машиностроение. Москва. 1985г.
3. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. 7 изд. Москва. 1972 г.
4. Ольгейзер И.А. Разработка средств и методов учета влияния климатических условий в управлении сортировочными процессами. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Ростов-на-Дону. 2010 г.
5. Лябах Н.Н., Пирогов А.Е. Автоматизация технологических процессов на железнодорожном транспорте с применением методов распознавания. РИ-ИЖТ, Ростов – на – Дону: Учебное пособие. 1984.
6. Ольгейзер И.А. Методы оценки и компенсации влияния погодных условий на роспуск составов на сортировочной горке // Сборник трудов молодых ученых. – Ростов-на-Дону: РГУПС. 2008.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

- **Ольгейзер Иван Александрович**
Ростов-на-Дону, филиал АО «НИИАС»
начальник отдела, кандидат технических наук
iohan@rfniias.ru

УДК 681.324 + 06

Чернов А.В., Мирошников А.М., Александров А.А.

Применение цифровых сигнальных процессов для систем диагностики подвижного состава¹

Введение.

Процесс диагностики всегда связан с необходимостью анализа состояния объекта диагностики, сбора информации, ее обработка и вывода конечной информации. Конечный результат всегда завязан на достоверности получаемых данных от датчиков, считывающих информацию с объекта, а также на возможности системы по обработке этих данных [1]. Для обработки данных диагностическая система содержит в себе электронное вычислительное ядро, по средствам которого производится обработка, анализ, и вывод данных. Таким ядром является процессор, микропроцессор либо микроконтроллер, в зависимости от сложности конкретной рассматриваемой системы. С увеличением количества одновременных элементов диагностики возрастает и сложность устройства, особенно стоит отметить элементы требующие обработки данных в реальном времени. Из чего вытекает основная проблема, которая сводится к задаче написания оптимизированного программного обеспечения способного успешно производить обработку получаемых данных в реальном времени без потерь информации, так как любые потери ведут к неверной трактовке информации. Существует подход, при котором задача обработки элементов диагностики делится между несколькими вычислительными элементами, но это ведет зачастую к усложнению взаимодействия системы внутри себя, что так же плохо сказывается на конечном результате.

Анализ возможных решений.

Для понимания сложности написания оптимизированного программного обеспечения стоит отдельно остановиться на датчиках, используемых в системах диагностики. Условно все датчики можно разделить на готовые к использованию на прямую с вычислительным ядром и на те, работа с которыми требует применения адаптеров на аппаратном уровне. Рассмотрим основные проблемы совместимости:

- Питание вычислительного ядра не совпадает по уровню с питанием датчика;
- Логические уровни датчика не совместимы с вычислительным ядром;
- Отсутствие возможности вычислительного ядра обрабатывать аналоговые сигналы от датчика.

Все из перечисленных проблем имеют аппаратное решение, и не относятся к неразрешимым, такие решения зачастую используются для конкретных датчиков и редко дают совместимость с другими, из-за чего отсутствует универсальность устройства (Рисунок 1).

Есть способ создания более универсальной и аппаратно-совместимой системы. Так одним из решений проблемы обработки сигналов от диагностических датчиков в реальном времени является использование цифровых сигнальных процессоров. В отличие от обычных процессоров или микроконтроллеров сигнальные процессоры прежде всего ориентированы на

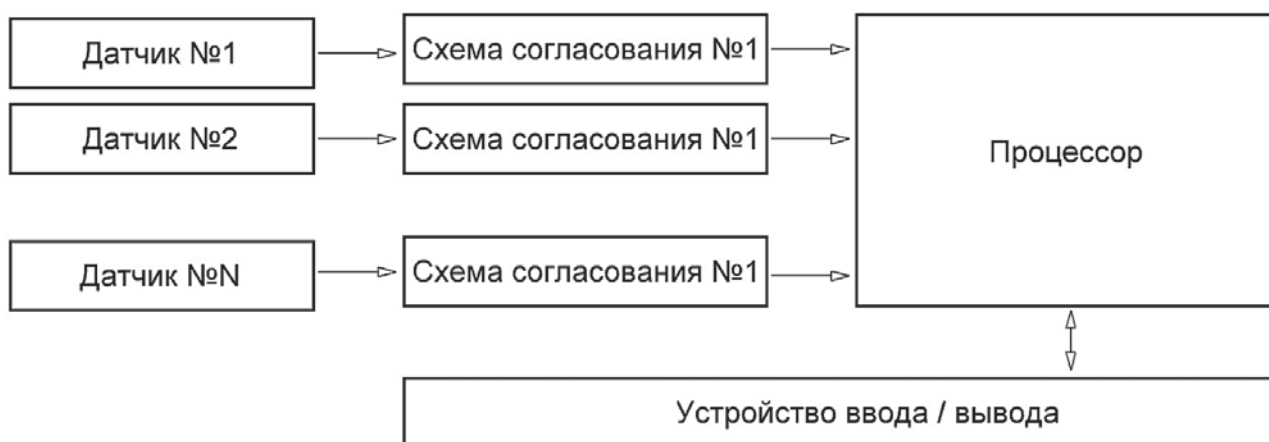


Рис.1. Схема устройства диагностики

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 19-01-00246 А.

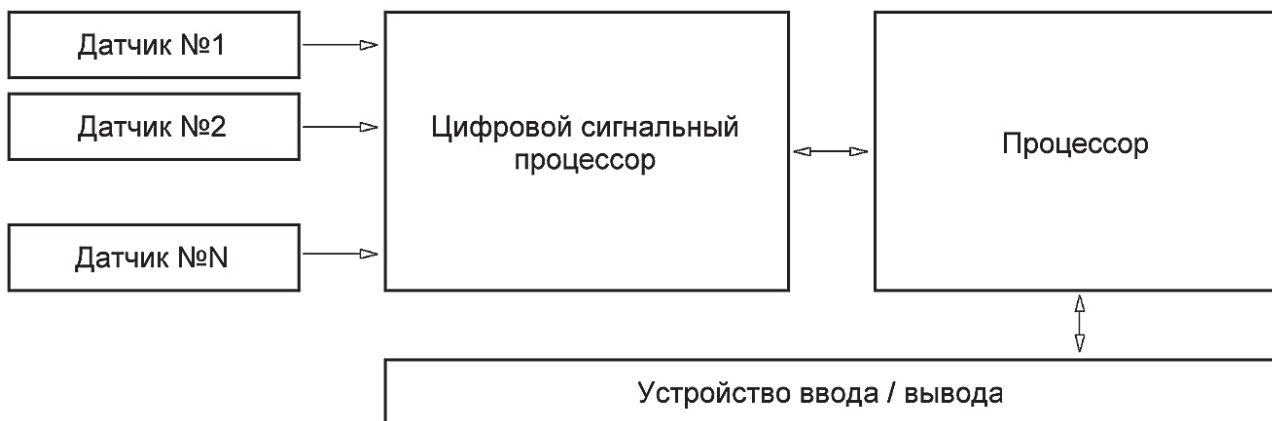


Рис.2. Схема включения сигнального процессора в устройство диагностики

быстродействие и выполнение задачи обработки данных в реальном времени. Использование цифровых сигнальных процессоров прежде всего дает возможность отвязать устройство от жестких схемотехнических решений и позволяет производить настройку в режиме реального времени с учетом меняющихся задач и датчиков диагностики. Стоит отметить, что сами по себе цифровые сигнальные процессоры не дают возможность полной обработки информации в конечный вид, а лишь являются ее первичным звеном преобразования в доступный для работы основного вычислительно элемента вид (Рисунок 2).

Такая связка прежде всего направлена на универсальность построения систем диагностики способных обрабатывать информацию от объектов, быстро изменяющих параметры во времени.

Рассмотрим достоинства от использования предложенной системы:

- Быстродействие за счет передачи преобразования сигналов с датчика от вычислительного ядра к сигнальному процессору;
- Гибкость настройки системы за счет возможности изменения программы обработки данных в сигнальном процессоре;
- Возможность предобработки как цифровых, так и аналоговых данных;
- Уменьшение количества элементов жесткой логики;
- Возможность настройки системы без вмешательства в аппаратную часть.

Структура и возможности сигнальных процессоров.

Одним из лидеров в производстве сигнальных процессоров является компания Analog Devices (США), на примере продукции данной компании далее подробнее рассмотрим возможности сигнальных процессоров. На рисунке 3 представлены основные ключевые компоненты устройства.

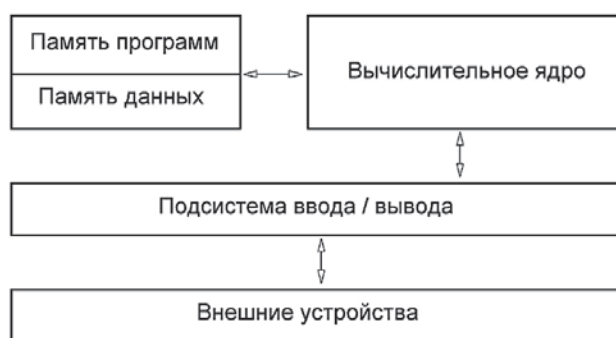


Рис.3. Структура сигнального процессора

Рассмотрим основные возможности:

- Программный фильтр с настраиваемой полосой пропускания, параметрами добротности и крутизной спада;
- Настройка коэффициента усиления и затухания;
- Возможность измерения амплитуды;
- Возможность генерации сигналов различной формы;
- Различные методы обработки и преобразования данных.

Аналоговый сигнал соответствующим образом ограничен полосой пропускания фильтром сглаживания и подается на вход аналогово-цифрового преобразователя (АЦП). В выбранное время дискретизации, конвертер прерывает сигнальный процессор и делает цифровую выборку доступной. Выбор между последовательным и параллельным взаимодействием между АЦП и сигнальным процессором зависит от объема данных, компромиссов сложности конструкции, пространства, мощности и цены. При цифровой обработке сигналов входящие данные обрабатываются программным обеспечением алгоритма сигнального процессора. Когда процессор завершает необходимые вычисления, он отправляет результат в цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП). Поскольку обработка

сигналов является программируемой, имеется значительная гибкость в обработке данных и повышении производительности системы с помощью инкрементных корректировок программирования.

Заключение.

Предложенный в статье подход позволяет решать задачи разработки систем диагностики на новом уровне, при этом максимально гибко допускает изменять параметры системы, не затрагивая аппаратную часть.

Литература:

1. Ростовская Т. К., Ростовская И. В. О развитии подходов к разработке систем // Вопросы техники и технологий. – 2016. – № 3. – С. 12-23.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Чернов Андрей Владимирович**
Ростов-на-Дону, ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», заведующий кафедрой «Вычислительная техника и автоматизированные системы управления», доктор технических наук, профессор
avcher@rgups.ru
- **Мирошников Артем Михайлович**
Ростов-на-Дону, ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», аспирант
art.mir.36@mail.ru
- **Александров Александр Алексеевич**
Ростов-на-Дону, ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», аспирант
kilmarnock@mail.ru



УДК 656.078.14

Юшкова С.С.

Интегративное управление инфраструктурой в условиях роста грузооборота на полигоне железных дорог

В международной эксплуатационной длине доля отечественных железных дорог составляет примерно 7% (более 85 тыс.км), по стоимости основных производственных фондов – 14%, ВВП – 4,9%, мировому пассажиро- и грузообороту – 15 и 24% соответственно. При этом износ путевой инфраструктуры достигает 55%, систем электрической централизации – 76%, автоблокировки – 55%, тяговых подстанций и контактной сети – 54%, локомотивного парка – более 20%. До 2025 г. ожидается сохранение низких темпов модернизации железнодорожной инфраструктуры, имеющей более 13 тыс. км. «узких мест», на устранение которых необходимо привлечение инвестиций в размере 1,5 трлн. руб. По этой причине в 2020 г. окажутся невыезженными 196,2 млн. т. грузов с потерями отчислений в бюджет – 1,3 трлн. руб. [1].

Железнодорожный транспорт находится в состоянии выполнения прогнозируемого роста перевозок – к 2025 г. ожидается прирост грузооборота на 21% от уровня 2018 г. [1], по результатам которого к значениям 2017 г. погрузка выросла на 2,2% до 1289,6 млн. т (3533,2 тыс. т в среднем в сутки) (рис.1), средняя даль-

ность перевозок грузов увеличилась на 35 км (+1,9%), до 1835 км, а грузовой грузооборот достиг исторического максимума – 2596,9 млрд. ткм (+4,2%) (рис.2).



Рис.1. Динамика объемов погрузки, млн. т [2]

При этом в грузообороте транспортной системы страны доля железных дорог составила свыше 87% с абсолютным рекордом по объемам перевозок к пиковому значению советского периода в 1988 г. – грузооборот увеличился на 2,5%. В сфере пассажирских перевозок отправлено более 1,157 млрд. чел. [2].

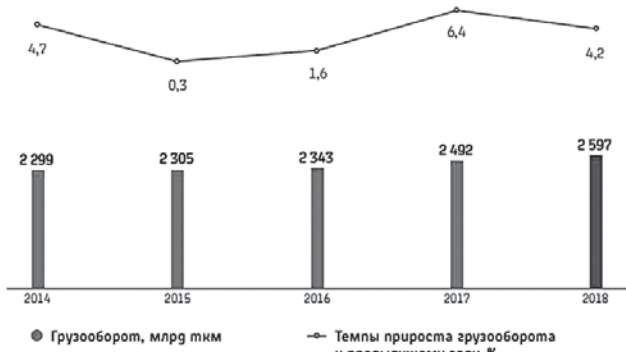


Рис. 2. Динамика грузевого грузооборота [2]

Обеспечение темпов экономического роста выше мировых значений, сохранение макроэкономической стабильности и внедрение современных технологий сложно представить без решения задач по ускоренной модернизации транспортного комплекса, обновления инфраструктуры и совершенствования перевозочных технологий. Приоритетное направление развития производственного блока ОАО «РЖД» – замена региональных принципов управления перевозочным процессом на планирование и организацию движения поездов на полигонах железных дорог (далее – полигон), который позволяет повысить эффективность работы, четко разграничить функционал и ответственность функциональных подразделений.

Так, на одном из наиболее грузонапряженных ходах – Восточном полигоне – при росте объемов перевозок к уровню прошлого года на 5% в 2018 г. объем ремонтов увеличился на 13,8%, а реконструкции пути – на 23,6%. Выполнено более четверти работ (28%) по оздоровлению пути, проведена реконструкция контактной сети общей протяженностью 111,7 км, отремонтировано 334 объекта по капитальному ремонту [2]. Внедряются автоматизированные комплексы задач диспетчерского планирования, контроля и управления движением поездов, а также ведутся работы в рамках систем планирования и оперативного регулирования парка локомотивов и моделирования работы железнодорожных станций.

При этом требуется дальнейшее совершенствование полигонных принципов управления перевозочным процессом, эксплуатационной работой и инфраструктурой ОАО «РЖД». В свою очередь, бизнес-блок «Железнодорожные перевозки и инфраструктура» (далее – ЦЖД) объединяет основные производственные бизнес-единицы, занимающиеся организацией железнодорожных перевозок, содержанием и развитием инфраструктуры и локомотивного комплекса. От эффективности их деятельности и уровня технологического взаимодействия зависит производственно-финансовый результат перевозочного процесса.

Полигонная технология формируется на трехуровневом управлении перевозочным процессом, в котором принятие решений по регулированию локомотивным парком, распределению погрузочных ресурсов, предоставлению «окон» на инфраструктуре осуществляется в жесткой иерархии от центрального до регионального уровней. При этом региональные центры корпоративного управления (далее – РЦКУ) осуществляют координацию эксплуатационной работы в границах соответствующей железной дороги, на которой система управления и текущего содержания инфраструктуры осталась без изменений – центральной и региональными дирекциями инфраструктуры ЦЖД (далее – ДИ), являясь несбалансированным звеном.

Для устранения возможной несогласованности в действиях на разных уровнях в полигонной технологии необходимо усовершенствовать систему управления инфраструктурой, тяговыми ресурсами и вагонным парком. Для этого предлагаем сформировать Единый центр управления инфраструктурой полигона (далее – ЕЦУИ), который в установленных лимитах организует эксплуатацию и содержание инфраструктуры структурными подразделениями ОАО «РЖД». Это позволит наряду с эффективной организацией эксплуатационной работы повысить производительность инфраструктуры за счет непрерывного контроля прямых затрат (рис. 3).

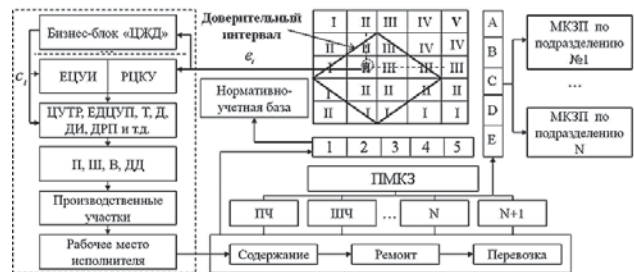


Рис. 3. Механизм адаптации отклонений затрат консолидированной ответственности участников перевозочного процесса к объемам грузооборота

В эксплуатационной работе полигона ЕЦУИ взаимодействует с центром управления тяговыми ресурсами (ЦУТР), единым центром управления перевозками (ЕДЦУП), дирекциями: управления движением (Д), тяги (Т) их структурными подразделениями: службами: пути (П), автоматики и телемеханики (Ш), вагонного хозяйства (В), управления движением (ДД), дистанций: пути (ПЧ), сигнализации, централизации и блокировки (ШЧ), др. и на основе теории активных систем с помощью интегральной оценки e_i анализирует эффективность использования инфраструктуры [3].

Интегральная оценка состоит из блоков оценки и ранжирования (далее – БОР), в которых через матрицы свертки (далее – МС) объединяются результаты оценок разнородных производственно-экономиче-

ских показателей – на пересечении строки и столбца формируется ранг деятельности [1].

Различают показатели: ведущие (от 1 до 4), характеризующие выполнение плановых заданий, и вспомогательные (от А до D), определяющие эффективность производства. Ранг основного и дополнительного показателя (от I до V) характеризуется доверительным интервалом и отражает качество использования инфраструктуры и тяги: первому – соответствует невыполнение установленного плана и низкий уровень взаимодействия на полигоне, а пятому – реализация плановых заданий на линейном уровне управления.

В основу функционирования механизма адаптации отклонений затрат консолидированной ответственности участников перевозочного процесса к объемам грузооборота (далее – МКЗ) заложены развитые в работе [4] фундаментальные подходы решения проблем по синтезу правильных адаптивных механизмов с идентификацией, которые позволяют осуществлять контроль первичных отклонений синхронно с выполнением работ на инфраструктуре и транспортировкой.

Первичная учетная информация о количестве и стоимости отклонений фиксируется первичным МКЗ (далее – ПМКЗ), данные в который поступают с функциональных подразделений, производственно-технических участков и рабочих мест. Производственно-финансовая деятельность структурных подразделений ЦЖД контролируется механизмом контроля затрат предприятия (далее – МКЗП). В каждом МКЗП входными данными являются затраты, а в ПМРЗ нормативов – получаемые нормативы, сопоставлением которых формируются оценки изменения нормативов. Основной задачей оценки и ранжирования является формирование уровня влияния каждой статьи затрат на адаптацию норм и нормативов производства. На основе получаемой информации о порядке и отклонениях определяются приоритетные факторы, ключевые причины и подразделения, наиболее влияющие затраты. Далее вырабатываются управленческие рекомендации по корректировке норматива и вносятся изменения в нормативную базу по видам деятельности и исполнителям.

В ПМРЗ затрат i -го ресурса оценки и ранги используются для стимулирования ответственного исполнителя. Если исполнитель использует нескольких ресурсов, то комплексная оценка формируется на основе всех значений локальных рангов в МС.

$$e_i = k_i y_i, \quad k_i = \begin{cases} 1 + v(x_i / y_i - 1), & \text{если } x_i \leq y_i \\ 1 + \mu(1 - x_i / y_i), & \text{если } x_i > y_i \end{cases}, \quad (1)$$

где y_i – значение показателя; x_i – норматив оценивания; $X(x_i, y_i)$ – функция стимулирования за отклонения значений показателя от норматива; v – мультипликатор поощрения; μ – мультипликатор взыскания, $v, \mu > 0$.

Себестоимость эксплуатации инфраструктуры в периоде t определяется:

$$c_t = \sum_{i=1}^n k_{it} P_{it}, \quad (2)$$

где k_{it} – количество i -го ресурса, фактически расходующего на инфраструктуру в периоде t ; P_{it} – цена i -го ресурса; i – номер ресурса, $i = 1, 2, \dots, n$.

Снижение себестоимости перевозочного процесса возможно за счет правильного решения технологической задачи по эффективной организации вагонопотоков, рациональной загрузке железнодорожной сети, ритмичной эксплуатационной работе полигона, интенсивности использования технических средств и путевого развития станций и участков. Наличие человека в каждой точке предполагает неизбежную инертность в принятии решений, возможность появления ошибок, субъективность при выборе вариантов разрешения возникших ситуаций, а также сложность и длительность согласования по вертикали управления.

Железнодорожные перевозки стали областью, в которой производительность все больше зависит от имеющейся способности извлекать информацию из сложных наборов данных, а также принимать оптимальные решения в режиме реального времени. Поэтому эффективное управление информацией и данными жизненно важно для железной дороги, которая является тесно связанной онтологической системой систем, где изменения в любой части могут иметь значительные последствия в других местах. Для автоматизированного координирования и оценивания действий по управлению производственной инфраструктурой и движению тяговых ресурсов за счет сопоставления со смежными значениями параметров содержания устройств и технических средств железнодорожного пути на языке программирования *Lazarus* разработана Автоматизированная система управления эксплуатационной работой единого центра управления инфраструктурой (далее – АСУ ЕЦУИ) [5] (рис.4).

АСУ ЕЦУИ позволяет в режиме реального времени (в том числе с учетом ретроспективных результатов) консолидировать основные показатели эффективности перевозочного процесса на полигоне посредством интеграции выходных данных (табличных форм) из общекорпоративной информационной среды – отраслевых автоматизированных систем, используемых в ОАО «РЖД» (АСОУП-2, ЕК АСУ ФР, АСУ МС, АСУ МР, СИРИУС и др.), – и визуального отображения эксплуатационной работы предприятий, обслуживающих инфраструктуру железнодорожных линий.

Процесс работы в системе выстроен следующим образом:

1. Получение исходных данных о железнодорожной сети, маршрутах следования поездов, параметров

- эксплуатационной работы и состояния инфраструктуры.
2. Задаются режимы работы программы: очередность проведения ремонта объектов инфраструктуры с учетом выполнения графика движения поездов.
 3. Конструирование процесса обслуживания инфраструктуры на полигоне.
 4. Формирование алгоритмов решения поставленной задачи.
 5. Построение оптимальных вариантов эксплуатационной работы полигона.
 6. Определение «барьерных мест» и реализация установленного плана формирования поездов в соответствии приоритизацией маршрутов.

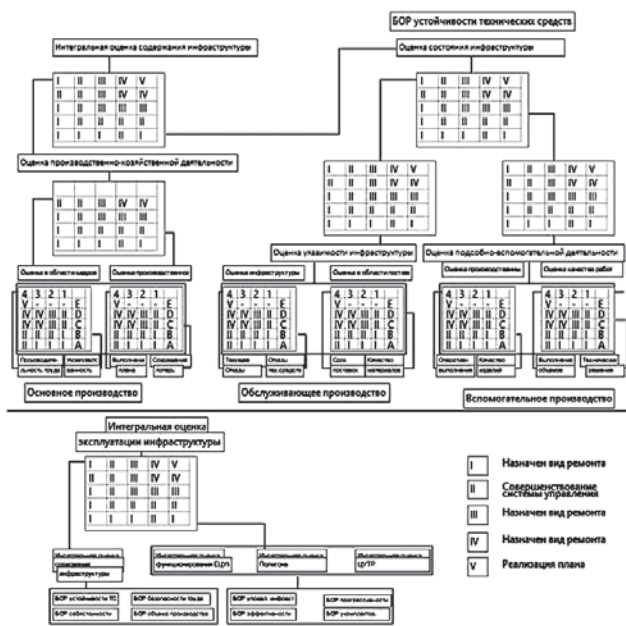


Рис. 4. Рабочий интерфейс АСУ ЕЦУИ

Уровень эффективности и качества работы железных дорог оценивается сроком доставки до пункта назначения необходимого объема перевозимого груза, с ростом которого возрастает интенсивность износа инфраструктуры, что требует перерывов в движении поездов на предоставление «окон» для производства ремонтно-путевых работ и неизбежно ведет к увеличению времени на доставку. При массово отгружаемой погрузке на железной дороге весомое значение имеет состояние и технические параметры весового хозяйства, а именно возможность взвешивания вагонов в динамическом состоянии. В ситуации, когда вагонные весы настроены только на измерение массы в статическом положении действенным средством уменьшения простоя вагонов, связанного с разравниванием грузов, является использование требований местных технических условий, которые разрешают выполнять погрузку без выравнивания груза и регламентируют перевеску

вагонов с возможностью определения побортной и потележной нагрузок. Для исключения человеческого фактора данный процесс реализован в Автоматизированной системе контроля положения центра тяжести груза в вагоне (далее – АСК ПТГ) [6] (рис.5).

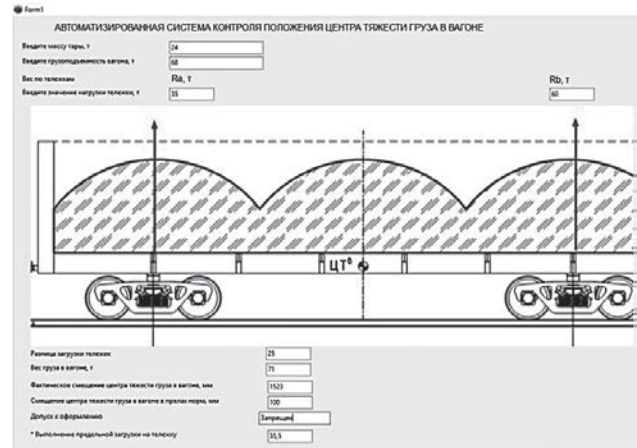


Рис. 5. Рабочий интерфейс АСК ПТГ

Программа предназначена для автоматического определения при потележном взвешивании в статике смещения общего центра тяжести груза в вагоне в пределах норм, установленных главой 1 «Технических условий размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах» от 27.05.2003 г. № ЦМ-943, и позволяет выдавать управленческие рекомендации по допуску к оформлению документов и перевозке грузов с учетом предельно допустимого значения трафаретной грузоподъемности вагона, что создает возможность ритмичного проследования установленных маршрутов движения поездов.

Достоверность функционирования автоматизированных систем определяется согласованностью и непротиворечивостью поступающих исходных данных и порождаемых управленческих решений. При этом, чем больше полигон, тем значимее последствия управленческой ошибки. Поэтому основным технологическим мероприятием по снижению производственных расходов является использование адаптивного управления мощностью объектов железнодорожной инфраструктуры (станций и участков).

В современной глобальной конкурентной среде невозможно добиваться высоких результатов без современных технологий, кардинальной перестройки бизнес-моделей для использования открывающихся в цифровой экономике возможностей по реализации проекта «Цифровая железная дорога», ключевым направлением которой является создание «Интеллектуальной системы управления». Авторами выполнены достаточные условия по синтезу правильных адаптивных механизмов с идентификацией, ориентированных на выполнение планов и раскрытие потенциала хозяй-

ствующих подразделений. С учетом роста грузооборота на полигоне железных дорог МКЗ удовлетворяет требованиям к достоверности результатов и имеет прикладное значение при разработке автоматизированных систем на железнодорожном транспорте. АСУ ЕЦУИ позволяет осуществлять автоматизированное управление производственной инфраструктурой железнодорожных линий и подвижным составом, а АСК ПТГ – ритмичное продвижение груженых вагонов на весовом хозяйстве, необорудованном устройствами для взвешивания в динамическом состоянии.

Полученные результаты формируют основу интегративного управления инфраструктурой полигона, позволяют снизить потенциальные риски на предварительном этапе внедрения, уменьшить затраты и сократить сроки внедрения новых технических средств и технологий энергоэффективности на железнодорожном транспорте.

Литература:

1. Сирина Н.Ф., Юшкова С.С. Интегративное управление инфраструктурой в перевозочной деятельности железных дорог // Транспорт Урала. – Екатеринбург, 2019. – № 1. – С. 7-17.
2. Годовой отчет ОАО «РЖД» за 2018 год по итогам утверждения Правительством Российской Федерации (распоряжение Правительства Российской Федерации от 29 июня 2019 г. №1393-р).
3. Совершенствование системы управления транспортной инфраструктурой полигона железных дорог // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – Иркутск, 2019. – Т.62, № 2. – С. 98-108. DOI: 10.26731/1813-9108.2019.2(62).98–108.
4. Цыганов В. В. Правильные адаптивные механизмы с идентификацией. // Проблемы управления. №2. 2018. С.47-57.
5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019612748 от 26 февраля 2019 г.
6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019617327 от 06 июня 2019 г.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

- **Юшкова Светлана Сергеевна**
Екатеринбург, ФГБОУ Уральский ГУПС,
аспирант кафедры «Вагоны»
3eol_triss@inbox.ru



УДК 656.222.4

Соколов А.Ю., Кириллова С.Ю., Панин Е.В.

Расчет провозной способности железных дорог с использованием Автоматизированной системы «Паспорт наличной пропускной способности железных дорог ОАО «РЖД»

Данные о наличной пропускной способности ежегодно отражаются в Паспорте наличной пропускной способности железных дорог ОАО «РЖД» (далее – Паспорт) [1].

С 2016 года, в соответствии с распоряжением ОАО «РЖД» № 658р от 14.04.2016, Паспорта рассчитываются с помощью Автоматизированной системы Паспорт наличной пропускной способности железных дорог (далее – АС Паспорт НПС, Система) [2].

Одним из наиболее актуальных вопросов для ОАО «РЖД» является конкурентоспособность предоставляемых Холдингом услуг по перевозке грузов и пассажиров в сравнении с другими видами транспорта.

Одним из ключевых показателей работы железнодорожного транспорта (в части грузовых перевозок) является провозная способность железнодорожных линий.

Провозная способность железнодорожной линии – наибольшая величина грузопотока (в млн тонн), которая может быть освоена линией в течение года.

В рамках развития АС Паспорт НПС очереди 2019 года предусмотрена подсистема расчета провозной способности (далее – Подсистема).

Методической основой для разрабатываемой Подсистемы является Методика определения пропускной и провозной способностей инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования, утвержденная приказом Минтранса России от 18.07.2018 №266 (далее – Методика) [3].

Согласно Методики провозная способность определяется по формуле:

$$\Gamma = 365 \cdot 10^{-6} \cdot n_{рез.зр} \cdot \varphi \cdot Q_{бр}, \quad (1)$$

где $n_{рез.зр}$ – результирующие технически допустимые размеры грузового движения по расчетному железнодорожному участку в грузовом направлении с учетом допустимого уровня заполнения пропускной способности, поездов/сут;

$Q_{бр}$ – средневзвешенная масса брутто грузовых поездов, проследующих по участку в грузовом направлении, тонн;

φ – отношение массы состава нетто к массе состава брутто (с учетом порожнего вагонопотока, следующего в грузовых поездах в грузовом направлении).

Данная формула подходит для расчета провозной при отсутствии данных о фактических поездопотоках. Однако, в связи с технологическими особенностями работы участков сети железных дорог, в месяцы максимальных перевозок исполненные размеры грузового движения могут достигать расчетных значений пропускной способности элементов железнодорожной инфраструктуры (перегоны, станции, устройства тягового электроснабжения), а иногда даже превышать их.

К таким случаям относятся:

- использование резервных тяговых трансформаторов устройств тягового электроснабжения для пропуска поездопотока в часы интенсивных перевозок;
- пропуск грузовых поездов на нитки графика пассажирских поездов.

Соответственно для определения провозной способности предлагается использовать следующую формулу:

$$\Gamma = 365 \cdot 10^{-6} \cdot (Q_{нет} \cdot n_{макс. исп.} + (Q_{ун} \cdot \varphi \cdot (n_{рез.зр} - n_{макс. исп.}))), \quad (2)$$

где $n_{макс. исп.}$ – исполненные размеры грузового движения проследовавшие по участку за отчетный период в среднем за сутки месяца максимальных перевозок, поездов/сут;

$Q_{нет}$ – средневзвешенная масса нетто грузовых поездов за месяц максимальных грузовых перевозок (или год), проследовавших по участку в грузовом направлении, тонн (в соответствии с данными статистической отчетности ЦО-1ВЦ);

$Q_{ун}$ – унифицированная норма массы грузового поезда в грузовом направлении, тонн.

Таким образом, при определении провозной способности, будут учтены фактические возможности железнодорожных участков по пропуску поездов в соответствии с данными статистической отчетности. При этом используемая для расчета формула (2) не противоречит формуле (1), предусмотренной в Методике, а лишь является ее детализированным вариантом.

Для проведения расчетов по формуле (2), в рамках разрабатываемой Подсистемы АС Паспорт НПС, предусматривается:

- передача массива данных о массах грузовых поездов нетто и брутто из формы статистической отчетности ЦО-1 ВЦ (по поездоучасткам) в АС Паспорт НПС;
- сопоставление поездоучастков формы статистической отчетности ЦО-1 ВЦ и расчетных участков АС Паспорт НПС;
- наложение данных о массах грузовых поездов нетто и брутто на участки АС Паспорт НПС.

Таким образом, на основе данных о наличной пропускной способности, отчетных и унифицированных массах грузовых поездов и исполненных размерах движения грузовых поездов, производится автоматизированный расчет наличной провозной способности сети железных дорог ОАО «РЖД».

В 2019 году в рамках АС Паспорт НПС выполняется реализация функционального состава проведения вариантных расчетов провозной способности, который предусматривает автоматизированный пересчет значений провозной способности на основании различных вариантов исходных данных и параметров расчета, настраиваемых в пользовательском интерфейсе Системы. Реализация функционального состава 2019 года обеспечит возможность оценки влияния параметров, являющихся исходными для расчета провозной способности, на ее итоговые значения и позволит сформулировать соответствующие зависимости. Схема информационных потоков подсистемы расчета провозной способности АС Паспорт НПС представлена на рисунке 1.

Автоматизированное определение провозной способности железнодорожных линий ОАО «РЖД» и хранение ее значений в БД АС Паспорт НПС, с отображением на Интерактивной схеме Системы, обеспечивает сокращение времени и трудоемкости выполнения расчетов, предоставляет оперативный доступ пользователям к данным о провозной способности. Практическое использование полученных данных с применением алгоритма нахождения максимального потока в транспортной сети (алгоритм Форда-Фалкерсона) позволяет производить оценку суммарных про-

возных способностей железнодорожных направлений и полигонов. Пример расчета суммарной провозной способности условного полигона по алгоритму Форда-Фалкерсона представлен на рисунке 2.



Рис.1. Схема информационных потоков подсистемы расчета провозной способности АС Паспорт НПС

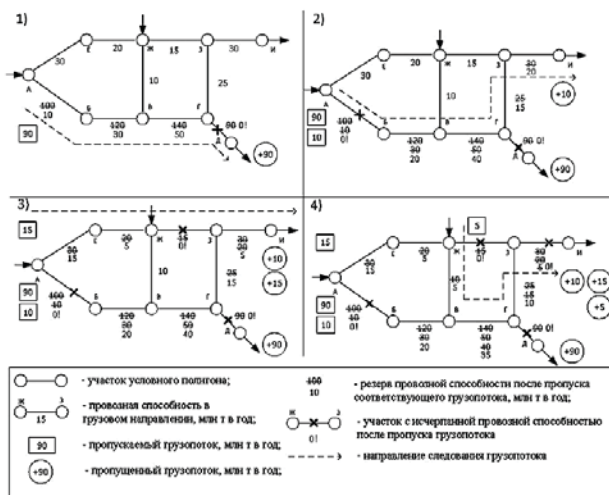


Рис.2. Пример расчета суммарной провозной способности условного полигона

Дальнейшее развитие Системы позволит производить сопоставление значений по вариантам расчета суммарной провозной способности при различных параметрах технической оснащенности и структуры поездопотока, а в перспективе дальнейшая аналитическая оценка провозной способности участков сети железных дорог и динамики их изменения позволит автоматизировано осуществлять экономическую оценку эффективности реализуемых мероприятий по развитию железнодорожной инфраструктуры.

Литература:

1. Соколов А.Ю., Кириллова С.Ю., Панин Е.В. Автоматизированная система расчета наличной пропускной способности железных дорог. Железнодорожный транспорт. 2017. № 10. С. 42-45;
2. Соколов А.Ю., Кириллова С.Ю., Панин Е.В. Развитие и применение автоматизированной системы «Паспорт наличной пропускной способности железных дорог ОАО «РЖД». Сборник «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование» (ИСУЖТ-2018) Труды седьмой научно-технической конференции. 2018. С. 205-208;
3. 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>.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Соколов Андрей Юрьевич**
Москва, АО «Институт экономики и развития транспорта», начальник сектора наличной пропускной способности отдела организации движения поездов sarov89@mail.ru
- **Кириллова Светлана Юрьевна**
Москва, АО «Институт экономики и развития транспорта», начальник сектора наличной пропускной способности отдела организации движения поездов kirillova.su@yandex.ru
- **Панин Евгений Владимирович**
Москва, АО «Институт экономики и развития транспорта», ведущий научный сотрудник отдела автоматизированного управления транспортными потоками web.pro@icloud.com



УДК 004:656.225

Панин В.В., Прокофьева Е.С.

Использование автоматизированных систем для обеспечения процессов взаимодействия подразделений ОАО «РЖД» при организации перевозок

Основной задачей причастных подразделений ОАО «РЖД» регионального и сетевого уровней при организации перевозочного процесса является осуществление перевозки заданного объема грузов и пассажиров в соответствии с нормативным графиком движения поездов и установленными сроками доставки грузов с учетом применения сквозных и экстерриториальных принципов управления при обеспечении безопасности движения и рациональном использовании ресурсов.

Качество оказания услуги перевозки во многом зависит от уровня взаимодействия подразделений внутри производственного блока. Возможны два варианта организации перевозочного процесса в границах технологического полигона управления перевозочным процессом.

В первом варианте организации работы в соответствии с распоряжением ОАО «РЖД» [1] для эффективного взаимодействия подразделений осуществляется планирование погрузки на предстоящий период, как по объемам, так и по направлениям, которое определяет сбалансированное наличие ресурсов, необходимых для обеспечения перевозки. Взаимодействие производственного и сбытового блоков ОАО «РЖД» направлено на планирование и осуществление перевозок грузов, оптимизацию использования инфраструктуры, выполнение бюджетных заданий по объемам перевозок, доходов и показателям использования подвижного состава с учетом соблюдения норм и правил безопасности и эксплуатации железнодорожного транспорта.

Для эффективного использования ресурсов по всем элементам управления перевозочным процессом ЦЭКР формирует прогнозную оценку грузовой базы и грузооборота по основным родам грузов в целом по сети ОАО «РЖД», ЦДИ обеспечивает ввод проектов календарных и месячных планов-графиков проведения ремонтно-строительных работ посредством АС АПВО для передачи в АС ПРОГРЕСС.

На основании представленной информации ЦФТО с использованием автоматизированных систем формирует предварительный прогноз (план) предъявления грузов в разрезе «дорога-дорога» и «станция-станция» («шахматки») в детализации по родам грузов:

- на год/квартал – прогноз;
- на месяц – план.

Разработанные ЦФТО «шахматки» грузопотоков и вагонопотоков передаются в ЦД для оценки реализуемости прогнозных параметров с учетом возможностей инфраструктуры.

ЦД совместно с АО «ИЭРТ» на основании результатов расчетов АС ПРОГРЕСС и АС ТН формирует предварительный вариант возможностей инфраструктуры, при необходимости ЦФТО осуществляет корректировку прогноза.

ЦФТО с учетом рассчитанных возможностей инфраструктуры осуществляет, при необходимости, корректировку прогноза (плана) предъявления грузов в разрезе «дорога-дорога» и «станция-станция» («шахматки») при этом [2]:

- на прогнозируемый год/квартал «шахматки» формируются в детализации по родам грузов;
- при месячном планировании «шахматки» формируются в детализации по родам грузов, а также по родам подвижного состава.

Дополнительно ЦФТО формирует прогноз (план) предъявления грузов в детализации по родам, видам сообщения и ТЦФТО. Итоговые формы направляются в ЦД и АО «ИЭРТ».

На основании полученной информации АО «ИЭРТ» обеспечивает проведение расчетов производственно-экономических показателей в предиктивной бизнес-модели железнодорожных перевозок и направляет результаты расчетов в ЦФТО, ЦЭУ, ЦЖД, ЦД, ЦТ в формате электронной таблицы.

ЦД на основе полученных данных и с учетом возможностей инфраструктуры формирует план объема передачи поездов по основным стыковым пунктам и направляет его в ЦЭУ для формирования объемных показателей по номенклатуре грузов (план грузооборота, пассажирооборота, приведенной работы, эксплуатационного грузооборота, объема тонно-километровой работы брутто и др.).

На основе вышеописанной информации ЦТ производит расчеты технической скорости грузового поезда в границах железных дорог, ЦД совместно с ЦТ – качественных показателей использования тягового подвижного состава и парка локомотивов во всех видах движения (участковая скорость, вес поезда, производительность локомотива (рабочего и эксплуатируемого парков).

Причастные подразделения ОАО «РЖД» соответствующих уровней управления осуществляют взаимный контроль за достижением целевых показателей, предусмотренных консолидированными бюджетами холдинга «РЖД». В данном случае показатели выступают инструментом установления взаимных обязательств подразделений, а качество их выполнения позволяет четко определить вклад каждого из них в выполнение или нарушение технологического процесса перевозки грузов.

Описанная система является действующим механизмом организации производственного процесса в холдинге ОАО «РЖД» и является основой для создания единой системы регламентов взаимодействия причастных подразделений. Она представляет собой совокупность всех нормативных документов, определяющих последовательность операций, выполняемых в рамках управленческой деятельности подразделениями аппарата управления, филиалов и ДЗО ОАО «РЖД» и их взаимодействие в ходе осуществления этой работы.

При втором варианте организации производственного процесса принимаются все предъявляемые к перевозке грузы. При возникновении превышения количества предъявляемых к перевозке грузо- и вагонопотоков над наличной пропускной и провозной способностью инфраструктуры используются различные инструменты для их освоения (прием грузов к перевозке и их временное отставление от движения в пути следования, направление вагонопотоков кружностью, применение параллельного графика движения поездов и т.д.). Основными критериями эффективности производственной деятельности для ОАО «РЖД» являются уровень освоения перевозок, зависящих расходов и доходности. При этом важными для грузоотправителей и грузополучателей являются два фактора – стоимость и время перевозки.

При применении данной технологии с учетом специфики работы железнодорожного транспорта ОАО «РЖД» предоставляет возможность клиенту на направлениях с ограниченными ресурсами (пропускная и провозная способности, эксплуатационные затруднения в связи с проведением ремонта инфраструктуры или неприемом грузов грузополучателями (например, портами) выбрать приемлемый вариант осуществления перевозки:

- перевозка грузов с откорректированными сроками и стоимостью доставки;
- перенос даты осуществления перевозки.

При данном варианте организации работы единым критерием, увязывающим производственную деятельность всех участников перевозочного процесса, является максимальный график движения грузовых поездов, а единым ограничивающим элементом – срок доставки грузов. Однако, при определении стоимости перевозки необходимо учитывать дополнительные затраты, связанные с замедлением продвижения грузопотоков (потребность в дополнительных локомотивах, локомотивных бригадах, инфраструктуры для временного отстоя, риски нарушения сроков доставки и договорных обязательств по сопутствующим грузам).

Таким образом, вариантом полного удовлетворения потребностей в перевозках грузов может являться создание матриц услуг, включающих совокупность вариантов маршрутов следования, сроков доставки, стоимости перевозки для различных эксплуатационных условий.

Литература:

1. Распоряжение ОАО «РЖД» от 16.10.2018 № 2264р «Об утверждении документов в области сквозного производственного планирования ОАО «РЖД».
2. Распоряжение ОАО «РЖД» от 14.02.2018 № 290р «О введении в действие Методики 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».

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Панин Виталий Владимирович**
Москва, АО «Институт экономики и развития транспорта», заведующий отделением взаимодействие транспортных систем, кандидат технических наук
panin_v_v@mail.ru
- **Прокофьева Евгения Сергеевна**
Москва, РУТ (МИИТ), Институт управления и цифровых технологий (ИУЦТ), первый заместитель директора – начальник учебного отдела, кандидат технических наук, доцент
eskolesnikova@mail.ru



Давыдов Д.О., Винокурова Т.А.

Технология автоматизированного контроля перевозок скоропортящихся грузов

Введение

Скоропортящимися называют пищевые и непищевые грузы, которые «в соответствии с техническими регламентами, документами по стандартизации, техническими условиями по своим свойствам при перевозке требуют применения мер защиты (охлаждения, отопления, вентилирования) от воздействия на них высоких или низких температур наружного воздуха, ухода или обслуживания в пути следования» [1-2]. Срок годности таких грузов устанавливается производителем в зависимости от соблюдения определенных температурных условий, которые должны строго выполняться, в том числе в процессе перевозки.

Обеспечение заданных температурных условий в процессе перевозки достигается использованием различных технологий, основными из которых являются:

- защита от осадков, когда ничто не мешает теплообмену груза с окружающей средой, и температура груза соответствует температуре наружного воздуха;
- режим «термос», при котором теплообмен груза с окружающей средой уменьшен за счет использования термоизоляции кузова транспортного средства;
- поддержание температурного режима, при котором груз не участвует напрямую в теплообменных процессах, его температура соответствует заданному диапазону значений и обеспечивается работой термического оборудования, требующего энергоснабжения.

Каждой технологии в процессе перевозки железнодорожным транспортом соответствует использование определенных транспортных средств – вагонов и контейнеров. При перевозке по первой технологии используются крытые вагоны и универсальные контейнеры. В остальных технологиях при перевозке используются специальные транспортные средства (СТС), которые характеризуются параметрами теплопередачи кузова (значением общего коэффициента теплопередачи кузова – коэффициент К) и мощностью (эффективностью) работы термического оборудования (в случае его наличия).

В зависимости от выбранной грузоотправителем технологии перевозок для данного скоропортящегося груза при заданных направлении перевозки (станция

отправления – станция назначения) и дате погрузки перевозчик должен применять разные технологии контроля условий перевозок, как на этапах, предшествующих перевозке и связанных с правильностью выбора транспортного средства в соответствии с возможностями перевозчика по обеспечению срока доставки (согласование заявок на перевозку, визирование накладной, завершение оформления накладной в Автоматизированной системе централизованной подготовки и оформления перевозочных документов (АС ЭТРАН), так и в процессе перевозки. Этапы контроля для использования различных технологий приведены на рис. 1.

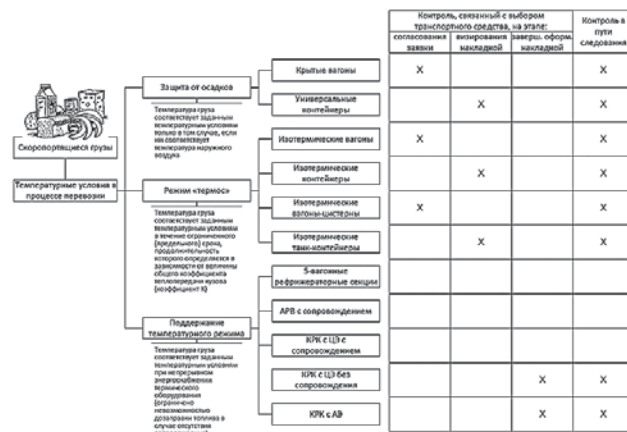


Рис. 1. Этапы контроля температурных условий при перевозках скоропортящихся грузов

Суть технологии автоматизированного контроля определяется при перевозке в вагонах их родом (крытые универсального назначения, изотермические), при перевозке в контейнерах их типом (универсальные, изотермические), а для рефрижераторных контейнеров, кроме того, способом энергоснабжения (автономное или централизованное). Мы не рассматриваем здесь и далее перевозку в рефрижераторных вагонах в составе 5 вагонных рефрижераторных секций, автономных рефрижераторных вагонах с сопровождением, а также в крупнотоннажных рефрижераторных контейнерах (КРК) на сцепках платформ с сопровождением, потому что обеспечение условий перевозок относится, в этом случае, исключительно к области ответственности сопровождающих.

Предлагаются следующие алгоритмы автоматизированного контроля перевозок скоропортящихся грузов.

1. Алгоритм оценки возможности соблюдения температурных условий перевозки скоропортящегося груза в крытом вагоне между заявленными станциями отправления и назначения при заявленной дате погрузки и заданных температурных условиях для груза на этапе согласования заявки на перевозку груза в АС ЭТРАН

Объектом контроля является соответствие температуры окружающего воздуха температурным условиям хранения/транспортирования груза в течение срока его доставки железнодорожным транспортом. Блок-схема алгоритма контроля приведена на рис. 2.

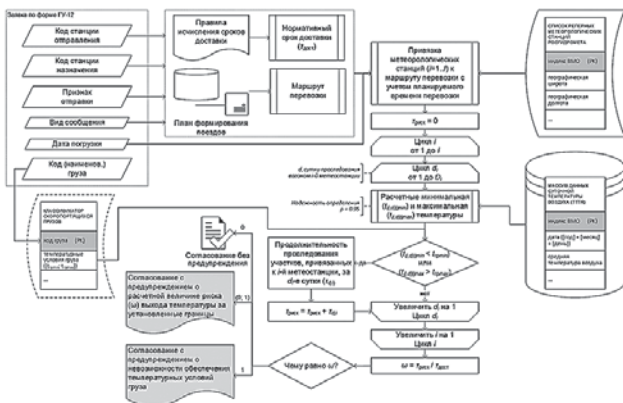


Рис. 2. Блок-схема алгоритма контроля соответствия заданным температурным условиям прогнозируемой температуры груза в пути следования на этапе согласования перевозчиком заявки на перевозку скоропортящегося груза в крытом вагоне

Технология контроля подразумевает определение расчетных среднесуточных температур наружного воздуха для каждого участка пути, привязанного к ближайшей реперной метеостанции. Расчетные значения температур наружного воздуха определяются по специальному алгоритму на основании анализа статистических метеоданных за предшествующий период продолжительностью не менее 30 лет, что позволяет их устанавливать с заданной надежностью (рекомендуемое значение для надежности – 0,95). Прогнозируемая температура груза численно принимается равной соответствующим расчетным значениям температуры наружного воздуха по маршруту следования груза.

Результатом контроля является выдача грузоотправителю прогнозной оценки в части возможности обеспечения температурных условий хранения/транспортирования груза в течение срока доставки по выбранной грузоотправителем технологии перевозки в крытом вагоне в следующем виде:

- выход прогнозируемой температуры груза за установленные границы температурных условий не установлен;

- доля и количество суток от срока доставки, в течение которых прогнозируемые температуры будут выходить за установленные границы температурных условий.

На основании полученной оценки грузоотправитель может принять решение об изменении технологии перевозки с внесением изменений в заявку на перевозку до завершения ее согласования перевозчиком. Если такое решение грузоотправителем не будет принято перевозчик применением предлагаемой технологии контроля обезопасит себя от возможных претензий грузополучателя в части того, что грузоотправителю не были разъяснены риски, связанные с выбором технологии перевозки железнодорожным транспортом, повлекшие порчу скоропортящегося груза.

2 Алгоритм определения возможности перевозки скоропортящегося груза при согласовании заявки на перевозку груза в изотермическом вагоне в режиме «термос» между заявленными станциями отправления и назначения при заявленной дате погрузки и заданных температурных условиях для груза

Объектом контроля является предельный срок перевозки груза в режиме «термос», рассчитываемый в соответствии со специальной методикой [3]. Блок-схема алгоритма контроля приведена на рис. 3.

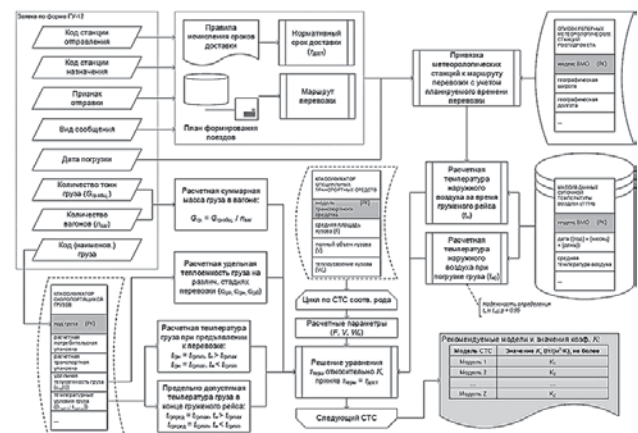


Рис. 3. Блок-схема алгоритма контроля соответствия предельного срока перевозки груза в режиме «термос» нормативному сроку доставки груза на этапе согласования перевозчиком заявки на перевозку скоропортящегося груза в изотермическом вагоне

Суть технологии контроля в определении значений коэффициента K для рекомендуемых перевозчиком моделей вагонов-термосов для обеспечения температурных условий перевозки груза в течение срока его доставки по заданному назначению.

Алгоритм включает:

- расчет температуры наружного воздуха за время груженого рейса, определенной по специальной методике на основании статистических метеоданных за предшествующий период не менее 30 лет [4];

- определение максимального значения коэффициента K для каждой модели вагона-термоса уравнения для определения предельного срока перевозки скоропортящегося груза в режиме «термос» в зависимости от расчетных значений параметра кузова вагона и расчетных значений удельной теплоемкости для груза, наименование которого указано в заявке на перевозку.

Результатом контроля является перечень рекомендуемых перевозчиком моделей вагонов и максимальных значений коэффициента K .

На основании полученных рекомендаций грузоотправитель может запросить под погрузку у оператора вагон с требуемым коэффициентом K . Перевозчик же применением предлагаемой технологии контроля обезопасит себя от возможных претензий грузополучателя в части того, что грузоотправителю не были разъяснены риски, связанные с выбором технологии перевозки железнодорожным транспортом, повлекшие порчу скоропортящегося груза.

3. Алгоритм определения возможности перевозки скоропортящегося груза в универсальном контейнере между заявленными станциями отправления и назначения при заявленной дате погрузки и заданных температурных условиях для груза на этапе визирования транспортной железнодорожной накладной (далее – накладная) в АС ЭТРАН

Алгоритм приведен на рис. 4. Как и для случая перевозки в крытом вагоне объектом контроля является соответствие температуры окружающей среды температурным условиям хранения груза в течение срока его доставки железнодорожным транспортом.

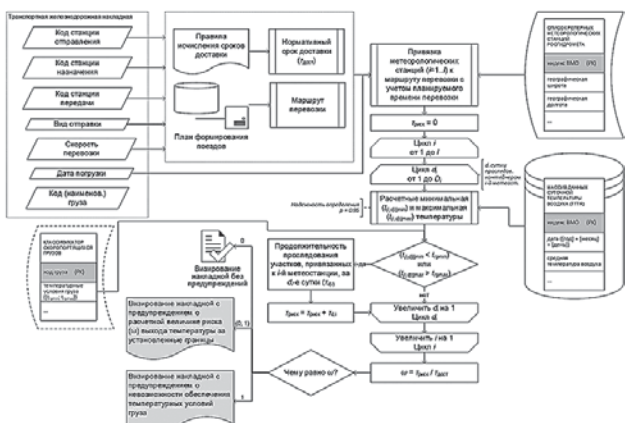


Рис. 4. Блок-схема алгоритма контроля соответствия заданным температурным условиям прогнозируемой температуры груза в пути следования на этапе визирования накладной на перевозку скоропортящегося груза в универсальном контейнере

Алгоритм аналогичен приведенному на рис. 2 с той лишь разницей, что в качестве исходной информации для контроля используются данные накладной.

Результатом контроля является выдача грузоотправителю прогнозной оценки в части возможности обеспечения температурных условий хранения груза в течение срока доставки по выбранной грузоотправителем технологии перевозки в универсальном контейнере в следующем виде:

- выход прогнозируемой температуры груза за установленные границы температурных условий не установлен;
- доля и количество суток от срока доставки, в течение которых прогнозируемые температуры будут выходить за установленные границы температурных условий.

На основании полученной оценки грузоотправитель может принять решение об изменении технологии перевозки, переоформив накладную для перевозки груза в специализированном транспортном средстве. Если такое решение грузоотправителем не будет принято перевозчик применением предлагаемой технологии контроля обезопасит себя от возможных претензий грузополучателя в части того, что грузоотправителю не были разъяснены риски, связанные с выбором технологии перевозки железнодорожным транспортом, повлекшие порчу скоропортящегося груза.

4. Алгоритм определения возможности перевозки скоропортящегося груза в изотермическом контейнере в режиме «термос» между заявленными станциями отправления и назначения при заявленной дате погрузки и заданных температурных условиях для груза на этапе визирования накладной в АС ЭТРАН

Алгоритм приведен на рис. 5. Как и для случая перевозки в изотермическом вагоне в режиме «термос» объектом контроля будет предельный срок перевозки груза в режиме «термос».

Алгоритм аналогичен приведенному на рис. 3 с той разницей, что в качестве исходной информации для контроля используются данные накладной, а расчетные параметры контейнера (кроме коэффициента K) устанавливаются в соответствии с заявленными кодами его типа и размера [5].

Результатом контроля является рекомендуемое максимальное значение коэффициента K для изотермического контейнера заявленного типа и размера.

На основании полученной рекомендации грузоотправитель может запросить под погрузку у оператора контейнер с требуемым коэффициентом K . Перевозчик же применением предлагаемой технологии контроля обезопасит себя от возможных претензий грузополучателя в части того, что грузоотправителю не были разъяснены риски, связанные с выбором технологии перевозки железнодорожным транспортом, повлекшие порчу скоропортящегося груза.

При этом в качестве начальной температуры груза для определения этого остаточного предельного срока принимается худшее значение установленного грузоотправителем температурного режима перевозки.

Отдельного внимания заслуживает ситуация, когда перевозка скоропортящегося груза сопровождается мониторингом в реальном времени его температуры, а также исправности термического оборудования и устройства энергообеспечения (в случае перевозки с поддержанием температурного режима). В продвинутых системах мониторинга может также отслеживаться запас топлива в устройстве энергообеспечения. Система мониторинга позволяет в качестве начального значения температуры груза при определении оставшейся части предельного срока перевозки груза в режиме «термос» принимать не расчетное, а фактическое значение, полученное в контрольной точке. Также фактическое, а не расчетное значение может быть принято по запасу топлива в устройстве энергообеспечения. Актуализация расчетных значений температуры наружного воздуха на оставшемся маршруте следования груза может производиться с учетом фактических значений температуры наружного воздуха, а также прогноза температуры наружного воздуха, выдаваемого Росгидрометом, при условии привязки его к маршруту следования груза. Мониторинг позволит значительно повысить точность определения основных технологических параметров.

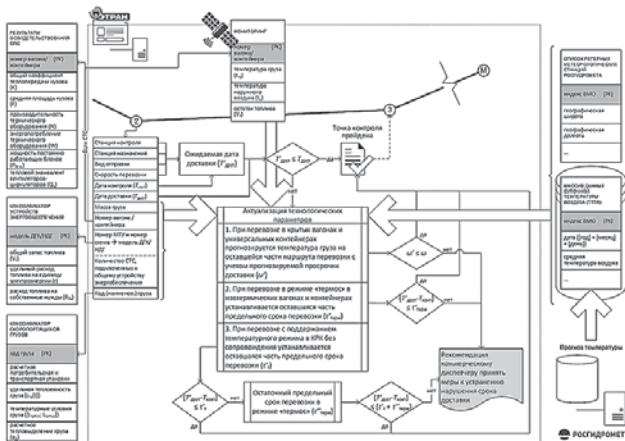


Рис. 7. Блок-схема алгоритма контроля перевозок СПГ в пути следования

Если в текущей контрольной точке установлена возможность превышения срока доставки и актуализированные технологические параметры свидетельствуют о невозможности обеспечения заданных температурных условий хранения/транспортирования груза, коммерческому диспетчеру средствами отраслевых автоматизированных систем должно быть выдано задание по обеспечению ускорения доставки груза.

7. Заключительные положения

Рассмотренные алгоритмы контроля разработаны на основании комплексной методики установления и

контроля условий перевозки скоропортящихся грузов железнодорожным транспортом, разрабатываемой специалистами АО «НИИАС». Данные алгоритмы контроля позволяют во взаимодействии отраслевых автоматизированных систем обеспечить условия для поддержания качества и безопасности скоропортящихся грузов при их перевозке железнодорожным транспортом. Активная роль перевозчика в данном процессе позволит максимально обезопасить себя от возможных претензий со стороны грузополучателя в случае порчи скоропортящегося груза при перевозке железнодорожным транспортом в соответствии с выбранной грузоотправителем технологией перевозки.

Литература:

1. Правила перевозок железнодорожным транспортом скоропортящихся грузов: утв. приказом МПС России от 18.06.2003 № 37.
2. Соглашение о международном железнодорожном грузовом сообщении (СМГС). Режим доступа: http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE_ID=704&layer_id=5104&id=6969 (последнее обращение 20.09.2019 г.).
3. Типовая методика по установлению температурных режимов и предельных сроков перевозки ОАО «РЖД» новых видов скоропортящихся грузов в изотермических транспортных средствах, кроме изотермических цистерн и контейнеров-цистерн, на особых условиях: утв. вице-президентом ОАО «РЖД» 04.12.2012 № 355.
4. Давыдов Д.О. Алгоритм определения расчетной температуры наружного воздуха для установления условий перевозок скоропортящегося груза железнодорожным транспортом // Вестник транспорта Поволжья, 2019. № 2(74), С. 51-59.
5. ГОСТ Р 52524 2006 (ИСО 6346:1995). Контейнеры грузовые. Кодирование, идентификация и маркировка. М.: Стандартинформ, 2008. 23 с.
6. Соглашение о международных перевозках скоропортящихся пищевых продуктов и о специальных транспортных средствах, предназначенных для этих перевозок (СПС). Режим доступа: http://www.unecsc.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp11/ATP_publication/2017/ATP_R_ECE_TRANS_271_WEB.pdf (последнее обращение 20.09.2019 г.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Давыдов Денис Олегович**
Москва, АО «НИИАС», с.н.с.,
d.o.davydov@gmail.com
- **Винокурова Татьяна Алексеевна**
Москва, АО «НИИАС», начальник отделения,
кандидат технических наук,
t.vinokurova@vniiias.ru

УДК 656.21

Панин В.В., Капунов К.А., Кириллова С.Ю., Панин Е.В., Тарар М.В., Новиков П.О.

Развитие задач автоматизированной разработки и выдачи технических условий на проектирование строительства и реконструкции железнодорожной инфраструктуры общего и необщего пользования

Стратегия развития информационных технологий ОАО «РЖД» до 2020 года (Приложение 1.2 раздел 8.9), и цель, которая в ней заложена, а именно эффективное и сбалансированное развитие информационных технологий холдинга и повышении качества информации, предоставляемой бизнесу службой ИТ, обозначила необходимость создания Автоматизированной системы Мониторинга и исполнения технических условий ОАО «РЖД» (далее – АС ТУ). (Рис. 1) АС ТУ является подсистемой Программного обеспечения ведения технологии взаимодействия железнодорожных путей необщего пользования и станций примыкания (далее – АС ЕТП).

Процесс выдачи технических условий ОАО «РЖД» не автоматизирован и нет единой базы хранения ранее выданных, находящихся в стадии разработки и утвержденных технических условий (далее – ТУ). Это не позволяет проводить качественную аналитику и препятствует принятию обоснованных и взвешенных управленческих решений в части подготовки к освоению перспективных грузопотоков.

Подсистема АС ТУ разработана для информационно-аналитического сопровождения процесса выдачи технических условий, рассмотрения обращений о продлении срока действия технических условий и внесения в них изменений.

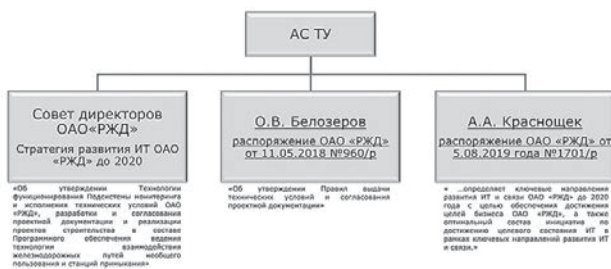


Рис.1. Основания для проектирования подсистемы АС ТУ

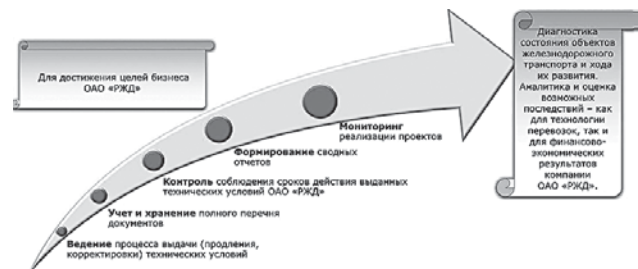


Рис.2. Цель подсистемы АС ТУ

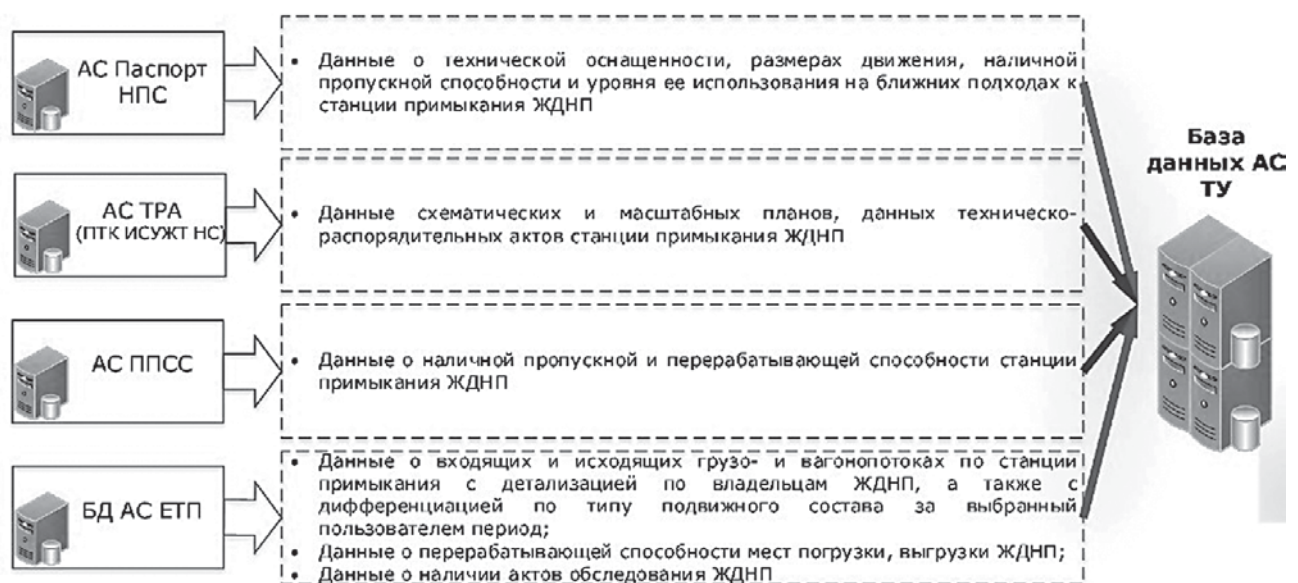


Рис.3. Информационное взаимодействие подсистемы АС ТУ

Задача состоит в том, чтобы автоматизировать процесс подготовки и выдачи ТУ от момента поступления заявки до подписания Акта приемки законченного строительством объекта формы КС-14.

Программное обеспечение ведения технологии взаимодействия железнодорожных путей необщего пользования и станций примыкания (АС ЕТП) в части подсистемы автоматизированной разработки и выдачи технических условий на проектирование строительства и реконструкции железнодорожной инфраструктуры общего и необщего пользования обеспечивает:

- ведение процесса выдачи (продления, корректировки) технических условий на примыкание железнодорожных путей необщего пользования к путям общего пользования на сетевом и дорожном уровне и их дальнейшей реализации;
- учет и хранение полного перечня документов, необходимого для получения технических условий и их дальнейшей реализации;
- контроль соблюдения сроков действия выданных технических условий ОАО «РЖД»;
- формирование сводных отчетов с возможностью фильтрации данных по выбранным пользователем критериям (дорога, станция примыкания, наименование компании заявителя, объем грузооборота ЖДНП и т.д.);
- мониторинг сроков строительства и внедрения в постоянную эксплуатацию инфраструктуры общего и необщего пользования, выполненных согласно выданным техническим условиям.

Таким образом АС ТУ (АС ЕТП) обеспечивает ведение централизованной базы данных, контроль исполнения технических условий ОАО «РЖД», разработки и согласования проектной документации и реализации проектов строительства.

В рамках развития АС ЕТП в части АС ТУ в 2019 году выполнена разработка программного обеспечения, решающего следующие задачи:

- *получение справочно-аналитических данных.* С целью использования информации о станции примыкания ОАО «РЖД» и ЖДНП для оценки возможности железнодорожной инфраструктуры ОАО «РЖД» по освоению заявленных грузопотоков разрабатывается функционал взаимодействия со смежными автоматизированными системами (АС Паспорт НПС, АС ТРА (ПТК ИСУЖТ НС), АС ППСС (АС ППСС-2)) и базой данных АС ЕТП (Рис. 3);
- *формирование проектов ТУ.* В целях приведения проектов ТУ к единому стандарту оформления создаётся ПО, предусматривающее последовательное заполнение данных в формализованном виде (Рис. 4);

✓ формирование Проектов ТУ



Рис.4. Автоматизированное формирование Проекта ТУ

- *разработка аналитического модуля для формирования статистической отчетности по выданным ТУ* (Рис. 5);



Рис.5. Аналитический модуль подсистемы АС ТУ

- *разработка модуля нормативно-справочной информации АС ТУ (АС ЕТП) с целью использования актуальной информации, регламентирующей порядок примыкания ЖДНП к инфраструктуре ОАО «РЖД» и выдачу соответствующих ТУ;*
- *создание интерактивной схемы выданных технических условий для наглядного восприятия информации о выданных ТУ* (Рис 6);

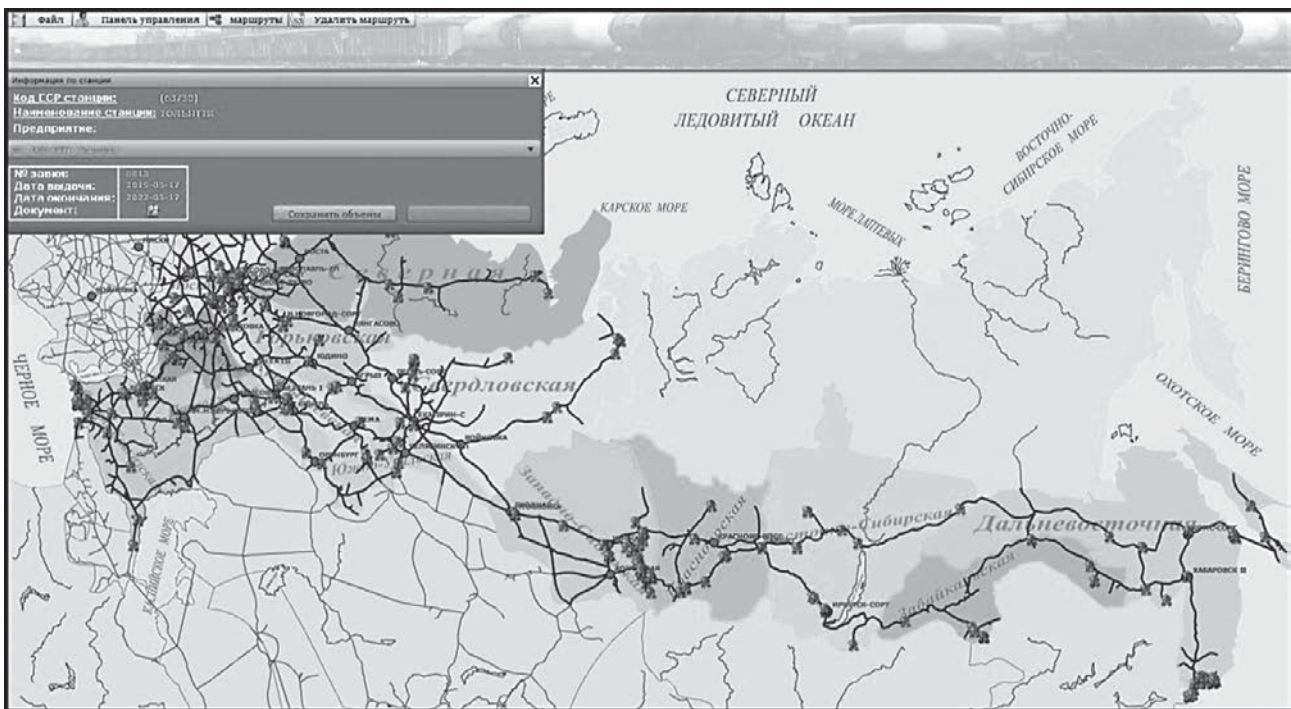


Рис.6. Интерактивная схема выданных ТУ

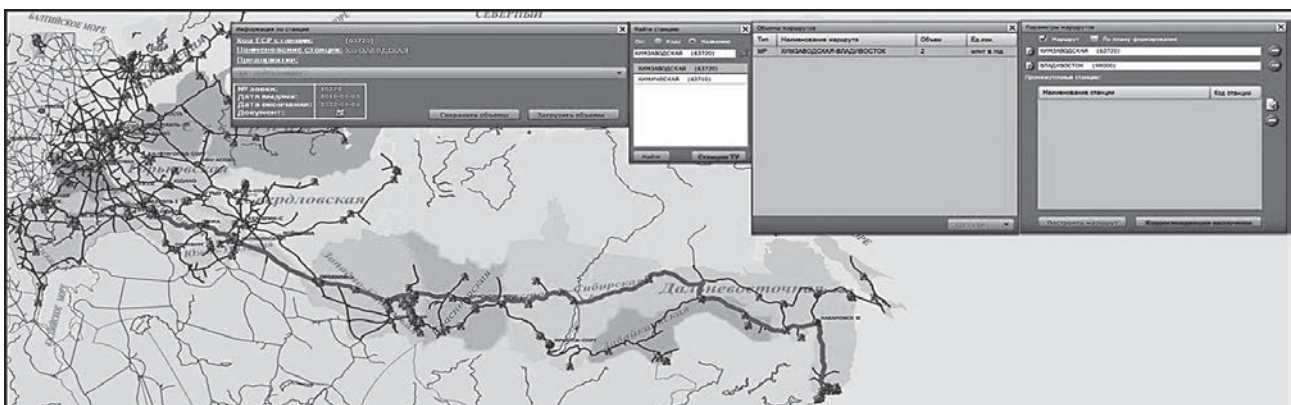


Рис.7. Интерактивная карта маршрутов следования заявленных грузопотоков на сети ОАО «РЖД»

- создание интерактивной карты маршрутов следования заявленных грузопотоков по сети железных дорог ОАО «РЖД» для визуализации информации о заявленных грузопотоках по сети железных дорог ОАО «РЖД» (Рис. 7);
- создание модуля ведения процесса выдачи технических условий на примыкание ЖДНП к путям общего (необщего) пользования дорожного уровня для создания централизованной базы данных в части учета заявок с планируемым объемом прибытия и (или) отправления грузов в сообщении с ЖДНП до 500 тыс. тонн в год или при планируемом суточном объеме прибытия и (или) отправления до 71 условного вагона.

Разработка подсистемы АС ТУ в части анализа заполнения (использования) пропускной способности

на маршруте следования заявленных грузопотоков по сети железных дорог ОАО «РЖД» – достаточно перспективное направление развития данной подсистемы.

Расширение взаимодействия с автоматизированной системой АС Паспорт НПС необходимо для отображения на интерактивной карте маршрутов следования заявленных грузопотоков, данных об уровне заполнения и наличии «узких мест» в пропускной способности железнодорожных участков, входящих в путь следования.

Данное развитие подсистемы позволит определять мероприятия для беспрепятственного освоения возрастающих грузопотоков, а также определять возможные экономические потери из-за невыдачи технических условий или невыполнения определенных ранее мероприятий.

Таким образом, подсистема АС ТУ вносит существенный вклад в решение крупной проблемы согласованного развития взаимодействующих транспортных инфраструктур разной принадлежности, на стыках которых имеют место существенные потери времени, материальных и финансовых ресурсов.

Литература:

1. Бородин А.Ф. Эффективно использовать станционные мощности. // Железнодорожный транспорт, 2006. – № 6. – С. 37 – 43.
2. 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.
3. 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»,
и.о. заместителя генерального директора,
кандидат технических наук
panin_v@iedt.com.rzd
- **Капунов Кирилл Александрович**
Москва, АО «Институт экономики и развития транспорта», начальник
отдела отделения эксплуатации
железных дорог и взаимодействия
транспортных систем,
kapunov@iedt.com.rzd
- **Кириллова Светлана Юрьевна**
Москва, АО «Институт экономики и развития транспорта», ведущий инженер
отделения эксплуатации железных дорог
и взаимодействия транспортных систем
kirillova.su@yandex.ru
- **Панин Евгений Владимирович**
Москва, АО «Институт экономики и развития транспорта», ведущий
научный сотрудник отдела
автоматизированного управления
транспортными потоками
web.pro@icloud.com
- **Тарар Михаил Викторович**
Москва, АО «Институт экономики и развития транспорта», инженер
отделения эксплуатации железных дорог
и взаимодействия транспортных систем
tarar@iedt.com.rzd
- **Новиков Павел Олегович**
Москва, АО «Институт экономики и развития транспорта», ведущий инженер
отделения эксплуатации железных дорог
и взаимодействия транспортных систем
novikov@iedt.com.rzd



УДК 656.223

Петров А.С.

Оценка влияния некруглосуточной грузовой и поездной работы на перерабатывающую способность и ёмкость путевого развития припортового узла с помощью методов имитационного моделирования

Одной из нерешенных научно-методических проблем в области комплексного развития инфраструктуры в припортовых транспортных узлах [1] является выбор методического аппарата для определения эксплуатационных параметров работы узла. Развитие систем имитационного моделирования в настоящее время позволило производить уточнения существующих инструктивных документов, основанных на аналитических методах расчёта. Вместе с тем, совместное использование и тех и других методов может способствовать более успешному решению [2].

Одной из сфер для совершенствования указанных аспектов проблемы является исследование технико-технологических параметров припортовых транспортных узлов. В частности, в данной работе рассматривается влияние некруглосуточной грузовой и поездной работы на эксплуатационные параметры работы системы «Порт – железная дорога».

Утверждённые методики [3] и [4] в настоящий момент применяются в решении инженерных задач. Вместе с тем, результирующая перерабатывающая способность, полезная ёмкость путевого развития припортового узла, а также избыток фактического вагонного парка зависит от множества технологических факторов, относящихся как к припортовой станции, так и к примыкающим к ней станциям и внутриузловым линиям. Каждый путь необщего пользования (далее – ПНП) влияет на общую технологию работы узла. Суммарная ёмкость путевого развития припортового узла и структура её взаимодействия внутри рассматриваемой системы во многом определяется технологией работы ПНП, влияние которой требуется определить с достаточной точностью. При этом необходимо помнить, что в условиях конкретных транспортных узлов повышение перерабатывающей способности за счёт инфраструктурных мероприятий зачастую слишком затратно либо технически нереализуемо.

Наряду с этим, согласованность режимов работы ПНП с технологией работы припортовой станции – одна из важных задач организации устойчивого функционирования узла, от точности решения которой зависит экономическая эффективность перевозок в целом. Данный вопрос недостаточно исследован с по-

мощью систем имитационного моделирования: такие факторы, как наличие частного парка вагонов, отстой порожних вагонов, технологических окон, влекущих за собой периоды сгущенного подвода поездов, оценить аналитически проблематично, что также подтверждает необходимость применения систем имитационного моделирования.

Задача состоит в том, чтобы определить, как изменятся значения различных эксплуатационных параметров при организации некруглосуточной грузовой и поездной работы в условиях влияния упомянутых выше ограничивающих факторов.

Для решения поставленной задачи требуется применение универсального инструмента, позволяющего проводить статистически значимые эксперименты с приемлемым уровнем затрат по времени и объёму работы. В качестве такого средства использована система имитационного моделирования ИМЕТРА [5], позволяющая учесть в расчётах требуемые факторы технологии работы припортового узла.

Сложность применения подобных имитационных систем моделирования обусловлена необходимостью ввода значительного объёма исходных данных. Данная проблема была частично решена путём разработки типовых модулей имитационного расчета крупных железнодорожных узлов. Используя технологические и технические предложения имитационного модуля «Припортовая (грузовая) станция», выполнено построение модели для рассматриваемой задачи, которая относится к области «начального проектирования» [6] (в отечественной терминологии – к предпроектной стадии), для которой характерны упрощения в описании заранее неизвестных характеристик станционной инфраструктуры и технологических операций, производимых на отдельных элементах.

На рисунке 1 приведена схема типового имитационного модуля с указанием наличной ёмкости путевого развития парков станции и проходящих струй вагонопотоков. Тупиковая конфигурация обусловлена тем, что на данный момент подавляющее большинство припортовых станций в России являются станциями тупикового типа. Ёмкость станционных парков и их конфигурация соответствует типовым

параметрам парков припортовых станций, ёмкость путей необщего пользования (далее – ПНП) выбрана произвольно.

Данные по перевалке грузов в крупных портах показывают значительное превышение экспортных грузопотоков над импортными (Находка в 8 раз, Ванино в 9 раз, Туапсе в 92 раза), поэтому рассмотрена технология работы станции с выгрузкой вагонов на ПНП. В таблице 1 приведены характеристики моделируемых мест выгрузки на ПНП.

Технологическая часть разработана с учётом различных категорий вагонопотоков и задаваемых ограничений на их продвижение. Прибытие и отправление поездов на станции производится исходя из ограничения дневного перерыва в работе станции. Поступающий вагонопоток следует в маршрутизированных поездах на ПНП №1 и №2, в «разборочных» поездах он следует через сортировочную систему на ПНП №№1-4. Доли вагонов отдельных назначений по ПНП заданы пропорционально вагонопотоку (ПНП №1 – 0,1; ПНП №2 – 0,1 ПНП №3 – 0,4 ПНП №4 – 0,4). Порожние вагоны из-под выгрузки выставляются в приемо-отправочный парк 2 и отправляются со станции.

Таблица 1. Характеристика работы мест выгрузки

1	2	3	4	5	6	7	8
Размер подачи немаршрутизируемых/маршрутизируемых вагонов, у.в.	Время подачи, ч	Время уборки, ч	Время выгрузки немаршрутизируемых/маршрутизируемых вагонов, ч	Размер одновременной выгрузки, ч	Коэффициент, учитывающий возникновение отказов ПНП	Продолжительность технологических перерывов, ч	
ПНП 1	25/71	0,13	0,13	2/4	71	0,02	0
ПНП 2	15/71			4/5,33	71		
ПНП 3	30			1	30		
ПНП 4	35			1,66	35		

Для сравнения количественных показателей исследуемой системы при различном уровне некруглосуточной грузовой и поездной работы разработано несколько вариантов (таблица 2) технологии модели при различной продолжительности поступления вагонопотока на припортовую станцию.

Расчёт по каждому варианту выполнялся для 10 периодов (7 суток в каждом периоде). По данным значимых суток определялись соответствующие параметры, в частности, значения дефицита вместимости путевого развития ПНП и припортовой станции общего пользования, значения избытка фактического вагонного парка и перерабатывающей способности. Расчёты выполнялись с помощью утверждённых методик [3] и [4].

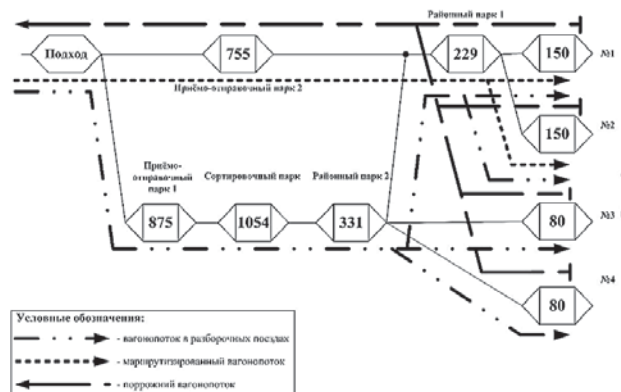


Рис.1. Схема типового имитационного модуля

Таблица 2. Описание вариантов моделирования

Номер варианта	Период и продолжительность поступления поездопотока на станцию общего пользования, ч	Размеры движения поступающего поездопотока, поездов/сут
1	2	3
1	00:00–24:00 (24 часа)	9
2	20:00–06:00 (10 часов)	
3	23:00–06:00 (7 часов)	
4	24:00–05:00 (6 часов)	
5	24:00–04:00 (4 часа)	
6	00:00–24:00 (24 часа)	12
7	20:00–06:00 (10 часов)	
8	23:00–06:00 (7 часов)	
9	24:00–05:00 (6 часов)	
10	24:00–04:00 (4 часа)	
11	00:00–24:00 (24 часа)	15
12	20:00–06:00 (10 часов)	
13	21:30–04:30 (7 часов)	
14	22:00–04:30 (6,5 часов)	
15	22:30–04:30 (6 часов)	

Выходные данные по разработанным вариантам обработаны стандартными методами регрессионного анализа и представлены в виде графиков зависимостей исследуемых величин при различном уровне некруглосуточной поездной работы (тп).

На рисунке 2 показана посуточная динамика изменения параметров работы станции при различной

продолжительности перерыва приема и отправления поездов. Например, рабочий парк вагонов в вариантах №7-9 растет в диапазоне 160-180 вагонов в сутки по отношению к варианту 6, однако при 20-часовом перерыве его значение увеличивается на 573 вагона в сутки. Уровень отправления вагонов со станции в 10 варианте снижается на 197 вагонов/сут, выгрузка на 264 вагона/сут (к варианту 6). Вместе с тем происходят задержки 446 вагонов по прибытию.

На рисунке 3 показаны результаты обобщения расчётов по вариантам №№ 6-10. По данному графику можно определить продолжительность перерыва приема и отправления поездов, при котором работа имитационной модели переходит в нестационарный режим, что означает резкое ухудшение эксплуатационной работы станции.

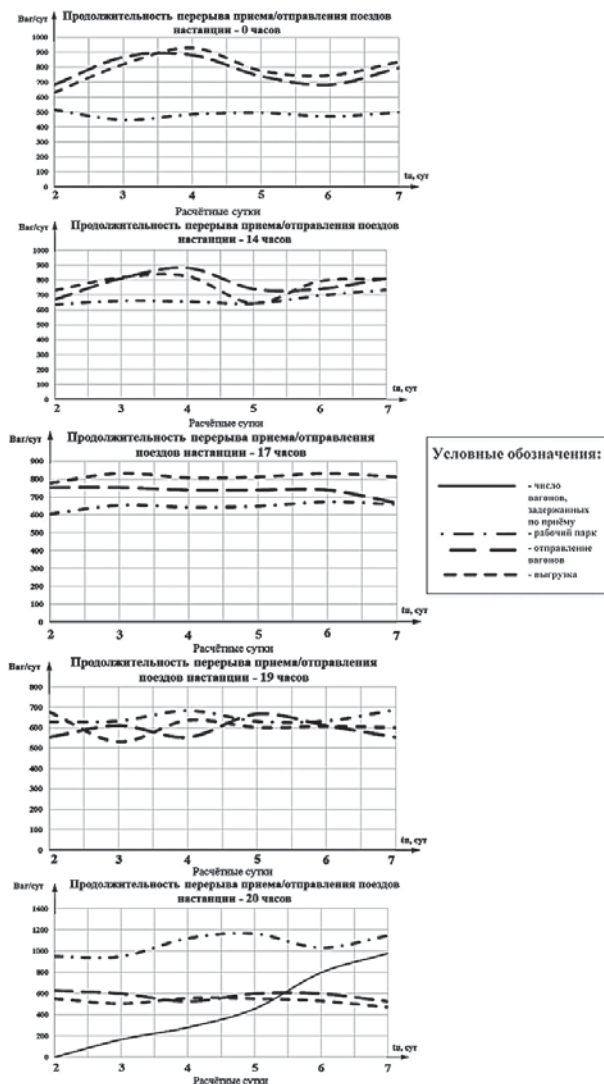


Рис.2. Посуточная динамика изменения параметров работы станции при различной продолжительности перерыва приема и отправления поездов ($t_{п}$) для расчётных периодов вариантов №№ 6 – 10 при входящем потоке 12 поездов/сут (см. таблицу 2)

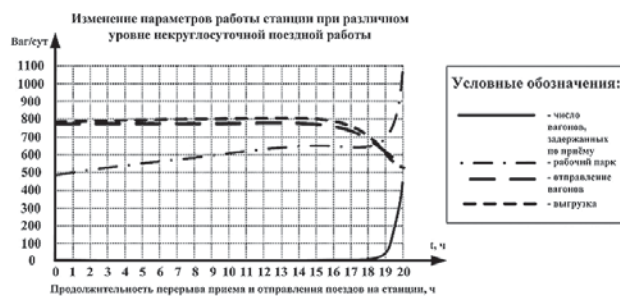


Рис.3. Изменение параметров работы станции при различной продолжительности перерыва приема и отправления поездов в течении средних суток расчётных периодов по вариантам №№ 6–10

На рисунке 4 приведена зависимость величины достигаемого уровня использования суммарной перерабатывающей способности путей необщего пользования [3] от продолжительности перерыва приема и отправления поездов.

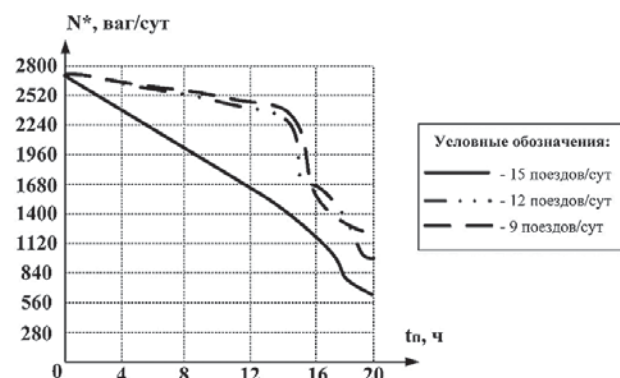


Рис.4. Изменение величины достигаемого уровня использования суммарной перерабатывающей способности путей необщего пользования (N^*) при различной продолжительности перерыва приема и отправления поездов ($t_{п}$)

Для определения результирующих технологических возможностей станции примыкания и путей необщего пользования и исключения потерь в эксплуатационной работе разработан график, приведенный на рисунке 5. Например, при величине поступающего поездопотока в 12 поездов в сутки продолжительность перерыва приема и отправления поездов по критерию беспрепятственного приема поездов не должна превышать 19 часов, а по критерию обеспечения выгрузки – 17 часов.

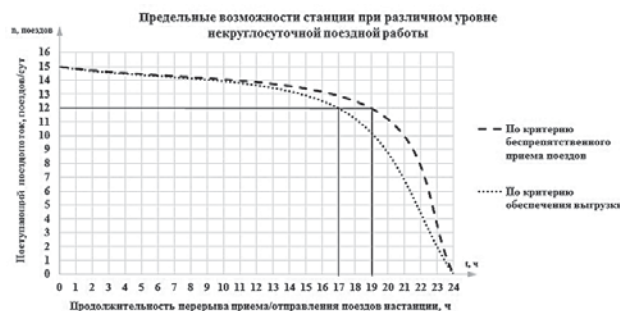


Рис.5. Предельные возможности станции при различной продолжительности перерыва по приему и отправлению поездов

В целом поведение измеряемых параметров по установленным вариантам соответствует друг другу. Чем выше число поступающих на станцию поездов при увеличивающейся продолжительности перерыва приема и отправления поездов, тем быстрее ухудшаются вычисленные значения.

Таким образом, в ходе работы исследованы зависимости дефицита вместимости путевого развития ПНП и станции общего пользования, значения избытка фактического вагонного парка и перерабатывающих способностей от уровня некруглосуточной поездной работы, а также определены предельные возможности станции по критериям беспрепятственного приема и обеспечения выгрузки. Полученные результаты могут использоваться в комплексных проектах по развитию транспортных узлов, где в результате развития внутригородских пассажирских перевозок (или других причин) может потребоваться организация работы станций узла в некруглосуточном режиме.

Литература:

1. Бородин А.Ф. Проблемы комплексного развития железнодорожной инфраструктуры в припортовых транспортных узлах. // Транспорт Российской Федерации. – 2017. – №4. – С. 45–50.
2. Козлов П.А., Колокольников В.С., Сорокин В.И. Совместное использование аналитических методов и имитационных моделей. // Транспорт Урала, 2016. – № 3. – С. 3 – 8.
3. Методика расчёта перерабатывающей способности станции, во взаимосвязке с перерабатывающими возможностями грузовых фронтов, мест общего и необщего пользования, на которых осуществляется грузовая работа / Утверждена распоряжением ОАО «РЖД» N 503/р от 18.03.2019 г. [Текст]. М., 2019. – 59 с.
4. Методика расчёта показателей работы вагонных парков, позволяющих осуществлять мониторинг, анализ и оценку влияния избыточности парков на эффективность и результативность работы сети / Утверждена распоряжением ОАО «РЖД» N 2668/р от 12.11.2015 г. [Текст]. М., 2015. – 55 с.
5. Слободянюк, И. Г. Технология макромоделирования железнодорожных станций и узлов: диссертация ... кандидата технических наук: 05.22.08 / Слободянюк Инна Геннадьевна; [Место защиты: Ур. гос. ун-т путей сообщ.]. – Екатеринбург, 2018. – 184 с.
6. Лещинский Е. Имитационное моделирование на железнодорожном транспорте. – М.: Транспорт, 1977. – 176 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

- **Петров Алексей Сергеевич**
Москва, АО «Институт экономики и развития транспорта», инженер
отделения эксплуатации железных дорог
и взаимодействия транспортных систем
petrov.alexey1@gmail.com



УДК 519.7

Бутакова М.А., Дейнеко О.В., Чернов А.В.

О возможности миграции ЕК АСУИ на нереляционные базы данных (NOSQL)¹

В настоящее время на железнодорожном транспорте активно развивается единая корпоративная система управления инфраструктурой (ЕК АСУИ).

Целью создания данной системой являлось обеспечение работоспособного состояния сооружений, устройств, механизмов и оборудования, безопасного для движения поездов с рациональными, экономически обоснованными скоростями движения и осевыми нагрузками при оптимальном уровне эксплуатационных затрат на их содержание.

Для достижения этой цели необходимо было осуществить интеграцию имеющихся систем управления различными хозяйствами, относящихся к инфраструктуре:

1. Комплексная автоматизированная система управления хозяйством централизации, сигнализации и блокировки (АСУ-Ш);
2. Автоматизированная система управления путевым хозяйством (АСУ-П);
3. Автоматизированная система управления хозяйством электрификации и электроснабжения (АСУ-Э).

Интеграция систем осуществляется на базе единой интеграционной платформы ЕК АСУИ. Интеграционная платформа получает данные из вышеуказанных АСУ и в зависимости от характера полученных данных передает ее в одну из подсистем ЕК АСУИ:

1. Единой технологической базы объектов эксплуатационной инфраструктуры (ЕТБ);
2. Типовой системы содержания объектов эксплуатационной инфраструктуры (ТС2);
3. Типовой системы управления инцидентами (ТСИ);
4. Единой системы мониторинга и диагностики объектов эксплуатационной инфраструктуры (ЕСМД);
5. Системы оценки и прогнозирования состояния объектов эксплуатационной инфраструктуры (СОПС).

Данные циркулирующие между ЕК АСУИ и системами управления различными хозяйствами являются крайне слабоструктурированными в силу своей при-

роды. Объекты путевого хозяйства, хозяйства централизации и блокировки и хозяйства электрификации и электроснабжения кардинально отличаются по весьма большому количеству характеристик. Соответственно и данные об инцидентах с такими объектами, их содержании и результатах диагностики так же будут отличаться.

На сегодняшний день в качестве базы данных для ЕК АСУИ используется классическая реляционная база данных под управлением СУБД Oracle. Особенностью реляционных баз данных является предопределенная модель хранимой информации. Данные являются строго типизированными, модель содержит ряд ограничений и отношений для обеспечения целостности данных.

Главные достоинства, реляционных баз данных (ACID):

1. **Атомарность** (*Atomicity*) – будут выполнены либо все подоперации внутри операции, либо ни одной;
2. **Консистентность данных** (*Consistency*) – все данные будут целостными и согласованными по завершении каждой транзакции;
3. **Изолированность** (*Isolation*) – параллельные транзакции не оказывают влияния друг на друга;
4. **Устойчивость** (*Durability*) – система сохранит свое состояние независимо от внешних факторов (транзакция прошла – изменение данных не будет утеряно).

В то же время в условиях работы слабоструктурированных данных большого объема, плюсы реляционных баз данных отчасти теряют актуальность. В рамках концепции реляционных баз данных достаточно сложно организовать распределенную базу данных. Добавление новых атрибутов требует полной реструктуризации базы данных, что может приводить к значительному времени простоя. В реляционной базе полностью отсутствует возможность внести данные об объектах, атрибуты которых заранее неизвестны.

Данные недостатки и привели к появлению нереляционных баз данных или NOSQL (Not Only SQL). Нереляционные базы данных обладают следующими преимуществами:

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проекты № 19-01-00246 А, 18-01-00402

1. Гибкая модель данных. Схема базы данных не регламентирована, что позволяет легко вносить данные, имеющие различные атрибуты;
2. Масштабируемость и производительность. По умолчанию в нереляционной базе данных не обеспечивается атомарность и консистентность (однако, она может быть включена при необходимости), что позволяет базе данных масштабироваться на используемом в реальном времени оборудовании, а это обеспечивает почти неограниченный рост с более высокой пропускной способностью и меньшей задержкой, чем реляционные базы данных.
3. Простота использования облачных вычислений и хранилищ.
4. Дейнеко, О.В., Применение интерактивных гранулярных вычислений для АРМ «главный пульт управления» интеллектуальной системы управления на железнодорожном транспорте, Транспорт и логистика 2017, 2017.
5. Зенцов Д.А., Галеева А.И. Сравнение реляционных и не реляционных (NOSQL) баз данных // Научное сообщество студентов: междисциплинарные исследования: сб. ст. по мат. XLIV междунар. студ. науч.-практ. конф. № 9(44). URL: [https://sibac.info/archive/meghdis/9\(44\).pdf](https://sibac.info/archive/meghdis/9(44).pdf) (дата обращения: 17.09.2019)

Заключение:

Большой объем слабоструктурированных данных, циркулирующих в ЕК АСУИ и территориальная удаленность различных дорог входящих в сеть РЖД, делают целесообразным изучение вопроса о возможности миграции ЕК АСУИ с реляционных на нереляционные базы данных.

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.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Бутакова Мария Александровна**
Ростов-на-Дону, ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», декан факультета «Информационные технологии управления», доктор технических наук, профессор
butakova@rgups.ru
- **Дейнеко Олег Владимирович**
Ростов-на-Дону, ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», старший преподаватель кафедры «Вычислительная техника и АСУ»
odeineko@mail.ru
- **Чернов Андрей Владимирович**
Ростов-на-Дону, ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», заведующий кафедрой «Вычислительная техника и АСУ», доктор технических наук, профессор
avcher@rgups.ru



УДК 004.056.5

Корниенко А. А., Диасамидзе С. В., Шатов А. М.

Подход к созданию безошибочного и устойчивого к воздействиям программного обеспечения микропроцессорных систем управления подвижным составом

Введение

Безопасное и эффективное функционирование железнодорожного транспорта является необходимым условием обеспечения инновационного пути развития и устойчивого роста экономики Российской Федерации. Одной из стратегических задач является широкое внедрение высокоскоростного движения в России. Это невозможно без создания интеллектуальных систем управления движением, в том числе и управления и контроля подвижным составом. В настоящее время разработаны и функционируют различные АСУ, решающие задачи управления тяговыми ресурсами, парками грузовых и пассажирских вагонов, безотрывного мониторинга состояния вагонных тележек и т.д. При ориентации подобных систем на условия эксплуатации в объеме высокоскоростного движения повышаются требования к их безопасности, в том числе информационной безопасности. Это обусловлено тем, что при воздействии на них может произойти не только повреждение критичных информационных ресурсов, но и возможно нарушение непосредственно перевозочного процесса, что повлечет за собой причинение вреда жизни и здоровью пассажиров.

В основе большинства воздействий на данные системы лежит эксплуатация имеющихся в них уязвимостей. При этом большая часть из них обусловлена ошибками, которые имеются в используемом данными автоматизированными системами программном обеспечении.

На данный момент имеются множество способов, которые позволяют обнаружить ошибки и уязвимые места программного кода. Но их существенным недостатком является то, что они часто не в состоянии обнаружить такие виды средне- и высокоуровневых уязвимостей, как, например, ошибки в логике выполнения программы. Поиск данных уязвимостей на данный момент слабо развит и требует присутствия высококвалифицированных экспертов по информационной безопасности.

Анализ асу подвижным составом как объекта информационной безопасности

Автоматизированные системы управления (АСУ) подвижным составом являются одной из ключевых частей железнодорожной транспортной системы, вследствие чего к ним предъявляются жёсткие требования в части правильного и безопасного функционирования, в том числе требования по защите циркулирующей в ней ответственной информации и информационной безопасности в целом.

При рассмотрении АСУ подвижным составом как объекта информационной безопасности необходимо определить, какие информационные ресурсы имеются в данной системе. Для этого необходимо выделить информационную инфраструктуру и информацию, которая подлежит защите, а также определить уровень значимости защищаемой информации.

Важное место в обеспечении безопасности АСУ подвижным составом занимает создание и использование свободного от ошибок и устойчивого к деструктивным воздействиям программного обеспечения (ПО), используемого на различных иерархических уровнях системы. В совокупности с наблюдаемым каждый год ростом количества обнаруживаемых уязвимостей, задача их поиска в ПО является критичной с точки зрения информационной безопасности.

Существующее множество уязвимостей ПО можно условно разделить согласно их местоположению в коде:

- низкоуровневые уязвимости (ошибки доступа к данным, ошибки в вычислениях и т.д.);
- среднеуровневые уязвимости (ошибки в логике работы ПО);
- высокоуровневые уязвимости (ошибки в архитектуре ПО).

На данный момент большинство способов поиска уязвимостей в ПО не являются удовлетворительными, так как направлены на поиск исключительно низкоуровневых уязвимостей и не всегда могут обеспечить полное покрытие кода и функциональности исследуемого продукта. Поэтому предлагается разработать ме-

тодологию создания безошибочного и устойчивого к деструктивным воздействиям ПО для системы управления подвижным составом.

Методология создания безошибочного и устойчивого к воздействиям программного обеспечения для системы управления подвижным составом

Предлагаемая методология направлена на поиск ошибок и уязвимостей в ПО АСУ подвижным составом и включает три основных этапа:

- создание встроенных механизмов контроля в микропроцессорных устройствах как элементов системы функционального контроля и диагностирования;
- верификация и тестирование;
- подтверждение соответствия ПО, которое может быть использовано на всех этапах его жизненного цикла.

Согласно этим направлениям была составлена модель исследуемой предметной области, представленная на рис. 1 и содержащая области жизни уязвимостей в различных представлениях программного обеспечения.



Рис. 1. Модель предметной области

Исходя из данной модели был разработан алгоритм создания безошибочного и устойчивого к воздействиям ПО для АСУ подвижным составом, представленный на рис. 2.

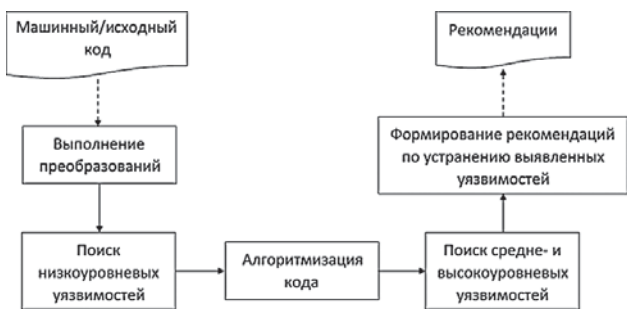


Рис. 2. Алгоритм создания безошибочного и устойчивого к воздействиям ПО

В качестве исходных данных необходимо использовать машинный либо исходный код исследуемого ПО, над которым будут производиться преобразование на первом этапе алгоритма (как правило, они будут заключаться в устраниении комментариев из текстов программ и прочих избыточных синтаксических конструкций).

На следующем этапе производится поиск низкоуровневых уязвимостей в полученном коде с использованием существующих на данный момент методов. Для обеспечения большего процента покрытия возможно совместное использование нескольких методов. Далее производится алгоритмизация кода с использованием языка ДРАКОН – визуального алгоритмического языка программирования и моделирования, обеспечивающего большую наглядность [3, 7]. Правила по созданию диаграмм в языке ДРАКОН создавались с упором на требования эргономики, таким образом они изначально оптимизированы под восприятие алгоритмов человеком в основном при использовании компьютерной графики.

Схемы, разработанные при помощи указанного языка, просты и понятны даже человеку, далёкому от программирования, что позволит расширить круг специалистов, которые могут использовать разрабатываемую методологию. Это обусловлено тем, что ДРАКОН делает упор на визуальную составляющую, что значительно повышает читаемость программы. В своём обычном виде блок-схемы позволяют графически отобразить логику программы, но при достаточно большом объёме программного кода они становятся громоздкими и теряют наглядность. Схемы на языке ДРАКОН, в свою очередь, позволяют изобразить решение сложных задач в предельно понятной и ясной форме. Это достигается использованием специальных правил эргономичных алгоритмов: например, в них запрещено пересечение линий алгоритма, которое обычно осложняет его понимание пользователем.

В отличие от классических блок-схем, в дракон-схема выход влево от условия запрещён, а маршруты рисуются по принципу «чем правее – тем хуже», т.е. тем правее в алгоритме находится какой-либо блок, тем более неприятную ситуацию он описывает. Это позволяет упростить понимание готовой схемы. Ещё одним преимуществом дракон-схем является то, что на данный момент они охватывают большую часть популярных и наиболее часто используемых высокоуровневых языком программирования. Таким образом, полученная на третьем этапе алгоритма схема позволит получить наглядное представление исследуемого ПО.

На четвёртом этапе производится поиск как средне-, так и высокоуровневых уязвимостей. При этом данный этап может проводиться как ручную экс-

пертом по информационной безопасности, так и автоматизировано. Для автоматизации работ на данном этапе необходима разработка специализированных программ, позволяющих анализировать блок-схемы и выявлять критичные места в них.

На последнем этапе методики согласно выявленным ранее уязвимостям производится формирование рекомендаций по их устранению. После внесения необходимых изменений в программный код необходимо провести повторный проход по этапам алгоритма для того, чтобы удостовериться в отсутствии как ранее выявленных, так и появившихся после исправления уязвимостей.

Заключение

Существующие на данный момент методы поиска ошибок и уязвимостей в ПО, как правило, направлены на поиск низкоуровневых уязвимостей и не всегда могут обеспечить полное покрытие кода и функциональности исследуемого продукта. Предлагаемая методология позволит создавать программное обеспечение, которое с большой вероятностью не будет содержать каких-либо ошибок и уязвимостей, что критично при использовании такого ПО в ключевых автоматизированных системах управления.

Литература:

1. Корниенко А.А., Диасамидзе С.В. Подтверждение соответствия и сертификация программного обеспечения по требованиям безопасности информации: учеб. пособие. – СПб.: ПГУПС, 2009.
2. Диасамидзе С.В. Метод выявления недеklarированных возможностей программ с использованием структурированных метрик сложности: дис.... канд. техн. наук. – СПб; 2012.
3. Израилов К.Е. Метод алгоритмизации машинного кода для поиска уязвимостей в телекоммуникационных устройствах: дис....канд. техн. наук. – СПб; 2017.
4. Академия Microsoft. Лекция 8: Методы проверки и тестирования программ и систем. Доступно по: <https://www.intuit.ru/studies/courses/2190/237/lecture/6130>.
5. Академия Microsoft. Лекция 12: Проверка требований. Доступно по: <https://www.intuit.ru/studies/courses/2188|174/lecture/4737>.
6. Кулямин В.В. Методы верификации программного обеспечения. – М.: Институт системного программирования им. В.П. Иванникова РАН, 2008.
7. ДРАКОН. Доступно по: <https://ru.wikipedia.org/ДРАКОН>.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Корниенко Анатолий Адамович**
Санкт-Петербург, ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», заведующий кафедрой «Информатика и информационная безопасность» доктор технических наук, профессор
butakova@rgups.ru
- **Диасамидзе Светлана Владимировна**
Санкт-Петербург, ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» кандидат технических наук, доцент
avcher@rgups.ru
- **Шатов Александр Михайлович**
Санкт-Петербург, АО «Лаборатория Касперского»
alexandr.shatov@yandex.ru



УДК 519.248

Замышляев А.М., Игнатов А.Н., Кибзун А.И.,
Новожилов Е.О., Платонов Е.Н., Шубинский И.Б.**О (не)допустимых значениях факторов, влияющих на излом боковой рамы вагона грузового поезда¹**

Одним из возможных неблагоприятных событий при осуществлении поездной работы является крушение/сход с рельсов подвижных единиц грузового поезда. Одной из составляющих ущерба при крушении/сходе с рельсов помимо материального ущерба, связанного с повреждением железнодорожных путей, и задержкой поездов выступает количество вагонов/секций локомотивов, сошедших с рельсов. В [1,2] было предложено использовать факторные модели для прогнозирования количества вагонов в сходе в случае его осуществления. По данным за 2013-2016гг. было выявлено, что среднее число вагонов в сходе с рельсов вне стрелочных переводов по причине неисправности вагонов/секций локомотива составляет 2,46. При этом более детальный анализ протоколов сходов с рельсов по причине неисправности вагонов/секций локомотива показывает, что выборка количества вагонов в сходе неоднородна [3]. Так, в частности, в случае схода по причине излома боковой рамы среднее число вагонов в сходе составляет 4,16, а при сходе по прочим причинам – 1,73, что демонстрирует опасность последствий именно от излома боковой рамы.

В [1] были приведены факторы, влияющие на количество вагонов в сходе: план и профиль пути, скорость поезда и др. В [4] была приведена оценка вероятности схода с рельсов, которая зависела от длины поезда и количества километров, пройденных поездом от последней остановки. Очевидно, что вероятность излома боковой рамы и, как следствие, риск излома также зависят от многих факторов. Такими факторами могут выступать количество километров и количество дней до планового капитального/деповского ремонта [3,5]. Среди других факторов можно выделить год литья рамы, производителя рамы, количество километров от последнего ПТО. Однако не все факторы, влияющие на вероятность излома боковой рамы, являются управляемыми. Так, например, управление частотой ПТО осуществить сложно. В этой связи в настоящей работе в качестве факторов, влияющих на вероятность излома боковой рамы, рассматриваются только количество ки-

лометров и дней до планового деповского/капитального ремонта, производитель и год литья рамы.

Для принятия управленческих решений в ОАО «РЖД» используются матрицы риска [6], на основе которых в зависимости от вероятности и ущерба от некоторого события определяется комплекс мер по снижению риска этого события. Можно также непосредственно строить зоны (не)допустимых значений факторов на основе факторных моделей вероятностей и ущерба [7]. В силу того, что количество изломов по сравнению с общим количеством вагонов, обращающихся в течение года на железнодорожной сети, невелико, то классическая оценка вероятности излома боковой рамы в форме частоты не показательна. В этой связи аналогично подходу, предложенному в [8], в настоящей работе на основе протоколов сходов/крушений/протоколов ремонта строится индекс опасности возникновения излома боковой рамы. Индекс опасности строится для рам одного производителя одного года выпуска. С использованием индекса опасности определяются зоны (не)допустимых значений факторов, влияющих на излом боковой рамы вагона грузового поезда.

Построение индекса опасности излома боковой рамы

Пусть имеется m протоколов расследования сходов/крушений по причине излома боковой рамы/протоколов деповского/капитального ремонта, выявившего необходимость в ремонте боковой рамы некоторого года производства некоторого производителя, в которых отражены:

d_i – количество километров, пройденных поездом от последнего ПТО, [км.];

s_i – количество километров, пройденных поездом после последнего деповского/капитального ремонта/постройки вагона, [км.];

t_i – количество дней после последнего деповского/капитального ремонта/постройки вагона, [ед.].

Поскольку управление расстоянием до ПТО сложно осуществимо, в дальнейшем этот фактор не рассма-

¹ Результаты работы получены при поддержке РФФИ и ОАО «РЖД» в рамках научного проекта № 17-20-03050 офи_м_РЖД

тривается. Так как у вагонов различных типов количество километров до очередного ремонта может быть различным, то будем рассматривать новые величины $\hat{s} = f(s)$ и $\hat{t} = g(t)$, характеризующие оставшееся количество километров до планового ремонта и количество дней соответственно. Эти характеристики могут быть вычислены согласно [9].

Для построения индекса опасности аналогично [8] построим эвристическую функцию

$$I(\hat{s}, \hat{t}) \stackrel{\text{def}}{=} \frac{\sum_{i=1}^m \chi_{[\hat{s}, +\infty) \times [0, +\infty) \cup [0, +\infty) \times [\hat{t}, +\infty)}(s_i, t_i)}{N}, \quad (1)$$

$$\text{где } \chi_A(z) = \begin{cases} 1, & z \in A, \\ 0, & z \notin A, \end{cases}$$

а N – общее количество боковых рам некоторого года выпуска некоторого производителя, эксплуатирующихся в течение года. Функция $I(\hat{s}, \hat{t})$ характеризует опасность возникновения дефекта и, как следствие, излома конкретной боковой рамы конкретного вагона и зависит от количества километров \hat{s} и количества дней \hat{t} , оставшихся вагону до ремонта. Функция $I(\hat{s}, \hat{t})$ вычисляется как отношение количества случаев, когда был обнаружен дефект у рам с меньшим количеством дней до ремонта, чем \hat{t} , или меньшим количеством километров до ремонта, чем \hat{s} , к общему числу боковых рам некоторого года выпуска некоторого производителя, эксплуатирующихся в течение года. Такой выбор данной функции $I(\hat{s}, \hat{t})$ вызван тем, что если в прошлом было зафиксировано много отказов/изломов боковой рамы с меньшим количеством дней до ремонта, чем \hat{t} , или меньшим количеством километров до ремонта, чем \hat{s} , то опасность излома боковой рамы высока.

Опишем свойства функции $I(\hat{s}, \hat{t})$:

- (i) функция $I(\hat{s}, \hat{t})$ монотонно не возрастает по каждому из своих параметров;
- (ii) $I(+\infty, +\infty) = 0$;
- (iii) $\forall \hat{s} \geq 0 \quad \forall \hat{t} \geq 0 \quad I(\hat{s}, 0) = I(0, \hat{t}) = \max_{\hat{s} \geq 0, \hat{t} \geq 0} I(\hat{s}, \hat{t}) = m / N$.

Свойство (i) гарантирует то, что с уменьшением количества дней или километров до ремонта опасность возникновения дефекта не уменьшится. Свойство (ii) гарантирует, что после ремонта опасность будет равна нулю (ремонт предполагается полностью устраняющим дефекты). Свойство (iii) гарантирует, что максимальное значение индекса опасности достигается на максимально возможной дистанции или максимально возможном количестве дней без ремонта.

Нахождение зон (не)допустимых значений факторов

Согласно [6] матрица риска это инструмент, позволяющий ранжировать и отражать риски путем определения уровней частот и тяжести последствий. По сути

матрица риска – это функция, определенная на пространстве, составленном из вероятности транспортного происшествия и ущерба, позволяющая принимать управленческие решения по уменьшению риска транспортного происшествия. Указанная функция имеет четыре значения и таким образом делит пространство вероятности и ущерба на четыре связные области: зона не принимаемого в расчет риска, зона допустимого риска, зона нежелательного риска, зона критического риска. Каждая из этих зон характеризует необходимость принятия тех или иных мер для уменьшения риска происшествия. Границы этих зон могут быть как гладкими [1], так и негладкими [6]. При этом, как правило, такая матрица применяется для стратегического планирования и управления. Однако для оперативного управления недостаточно только частоты и среднего ущерба за год от некоторого транспортного происшествия. Поэтому актуальной задачей представляется построение зон (не)допустимых значений факторов, влияющих на частоту и ущерб от транспортных происшествий, как это было сделано в [7]. Обозначим за

- D_1 – зону не принимаемого в расчет риска;
- D_2 – зону допустимого риска;
- D_3 – зону нежелательного риска;
- D_4 – зону критического риска.

Вначале построим эти зоны только на основе индекса опасности (1)

$$\begin{aligned} D_1 &= \{(\hat{s}, \hat{t}) : 0 \leq I(\hat{s}, \hat{t}) < i_1\}; \\ D_2 &= \{(\hat{s}, \hat{t}) : i_1 \leq I(\hat{s}, \hat{t}) < i_2\}; \\ D_3 &= \{(\hat{s}, \hat{t}) : i_2 \leq I(\hat{s}, \hat{t}) < i_3\}; \\ D_4 &= \{(\hat{s}, \hat{t}) : i_3 \leq I(\hat{s}, \hat{t})\}, \end{aligned}$$

где $i_1 < i_2 < i_3$ – некоторые числа. Эти числа можно задавать из экономических соображений. Пусть c_1 – средняя стоимость ремонта деповского/капитального ремонта, а c_2 – средний убыток от простаивания вагона в ремонте, а c_3 – средний ущерб при сходе вагонов/крушении грузового поезда по причине излома боковой рамы. Очевидно, что если для некоторой точки (\hat{s}, \hat{t}) риск излома боковой рамы превышает стоимость ремонта и ущерба от простаивания вагона, то эта точка должна попадать в зону нежелательного или критического риска. В этой связи можно положить

$$i_1 = \frac{1}{2} \frac{c_1 + c_2}{c_3}, \quad i_2 = \frac{c_1 + c_2}{c_3}, \quad i_3 = \frac{3}{2} \frac{c_1 + c_2}{c_3}.$$

Отметим, что другим подходом к определению зон (не)допустимых значений факторов является фиксация некоторых параметров зон (например, площади) и поиск на плоскости $\hat{t}O\hat{s}$ наилучших таких зон. Пусть

$$\begin{aligned} D_1 &= (\hat{s}^1, 210000] \times (\hat{t}^1, 1095], \\ D_2 &= (\hat{s}^2, 210000] \times (\hat{t}^2, 1095] \cap D_1, \\ D_3 &= (\hat{s}^3, 210000] \times (\hat{t}^3, 1095] \cap D_1 \cap D_2, \\ D_4 &= [0, 210000] \times [0, 1095] \cap D_1 \cap D_2 \cap D_3, \end{aligned}$$

где величины $\hat{s}^1 \geq \hat{s}^2 \geq \hat{s}^3 \geq 0$, $\hat{t}^1 \geq \hat{t}^2 \geq \hat{t}^3 \geq 0$ подлежат определению.

Для определения \hat{s}^i, \hat{t}^i , а по сути границ множеств D_p , отметим, что существует бесконечно много множеств D_j одинаковой площади. При этом каждое такое множество характеризуется определенным значением максимума индекса опасности на нем. В этой связи будем искать множества D_j так, чтобы

$$S_{D_1} \geq s_1, S_{D_1 \cup D_2} \geq s_2, S_{D_1 \cup D_2 \cup D_3} \geq s_3,$$

где $S_1 < S_2 < S_3$ – некоторые наперед заданные параметры. Данные параметры могут быть заданы, например, из геометрических ограничений:

$$s_1 = \frac{1}{4}S, s_2 = \frac{2}{4}S, s_3 = \frac{3}{4}S,$$

где $S = S_{D_1 \cup D_2 \cup D_3 \cup D_4}$. При этом на оптимальных множествах D_j максимальное значение индекса опасности должно быть наименьшим среди всех остальных множеств такой же площади. Таким образом, задача по поиску параметров \hat{s}^1, \hat{t}^1 принимает вид

$$\max_{\hat{s}^1 < \hat{s}^2 \leq 210000, \hat{t}^1 < \hat{t}^2 \leq 1095} I(\hat{s}, \hat{t}) \rightarrow \min_{\hat{s}^1 \geq 0, \hat{t}^1 \geq 0} . \quad (2)$$

с ограничением $(210000 - \hat{s}^1)(1095 - \hat{t}^1) \geq s^1$. (3)

Задача (2) при ограничении (3) является задачей нелинейного программирования, что затрудняет поиск ее решения. Поэтому путем введения целочисленных $\delta_i \in \{0,1\}$ переменных упростим эту задачу, $i = 1, \overline{M}$. Переменная δ_i равна нулю, если в i -м протоколе среди m рассматриваемых зафиксировано, что $\hat{s}^1 \geq \hat{s}_i$ и $\hat{t}^1 \geq \hat{t}_i$, и единице в обратном случае. С использованием переменных δ_i заключаем, что задача (2) при ограничении (3) сводится к задаче

$$\sum_{i=1}^m \delta_i \rightarrow \min_{210000 \geq \hat{s}^1 \geq 0, 1095 \geq \hat{t}^1 \geq 0, \delta_i \in \{0,1\}} , \quad (4)$$

при ограничениях

$$(1 - \delta_i) \hat{s}_i \leq \hat{s}^1, i = 1, \overline{m}, \quad (5)$$

$$(1 - \delta_i) \hat{t}_i \leq \hat{t}^1, i = 1, \overline{m}, \quad (6)$$

и ограничении (3). Пусть s_1^* и t_1^* – точки, задающие границу множества D_1 , полученные при решении задачи (4) при ограничениях (3), (5)–(6). Тогда аналогично для нахождения границ множества D_2 нужно решить задачу

$$\sum_{i=1}^m \gamma_i \rightarrow \min_{\hat{s}_1^* \geq \hat{s}^2 \geq 0, \hat{t}_1^* \geq \hat{t}^2 \geq 0, \gamma_i \in \{0,1\}} , \quad (7)$$

при ограничениях

$$(1 - \gamma_i) \hat{s}_i \leq \hat{s}^2, i = 1, \overline{m}, \quad (8)$$

$$(1 - \gamma_i) \hat{t}_i \leq \hat{t}^2, i = 1, \overline{m}, \quad (9)$$

$$(210000 - \hat{s}^2)(1095 - \hat{t}^2) \geq s^2. \quad (10)$$

Пусть s_2^* и t_2^* – точки, задающие границу множества D_2 , полученные при решении задачи (7) при ограничениях (8) – (10). Для нахождения границы множества D_3 нужно решить задачу

$$\sum_{i=1}^m \alpha_i \rightarrow \min_{\hat{s}_2^* \geq \hat{s}^3 \geq 0, \hat{t}_2^* \geq \hat{t}^3 \geq 0, \alpha_i \in \{0,1\}} , \quad (11)$$

при ограничениях

$$(1 - \alpha_i) \hat{s}_i \leq \hat{s}^3, i = 1, \overline{m}, \quad (12)$$

$$(1 - \alpha_i) \hat{t}_i \leq \hat{t}^3, i = 1, \overline{m}, \quad (13)$$

$$(210000 - \hat{s}^3)(1095 - \hat{t}^3) \geq s^3. \quad (14)$$

t_3^*, s_3^* – оптимальная стратегия в задаче (11) при ограничениях (12)–(14).

Задача (4) при ограничениях (3), (5)–(6), задача (7) при ограничениях (8)–(10), задача (11) при ограничениях (12)–(14) являются задачами смешанного целочисленного программирования с квадратичными ограничениями и могут быть решены с использованием пакета Opti Toolbox в среде Matlab. Заметим, что при поиске границ множеств D_j можно использовать не площадь соответствующих множеств, а, например, длину одной из границ этого множества.

Пример

Пусть по итогам некоторого года зафиксировано 105 случаев, когда был обнаружен дефект/излом в боковой раме, а $N = 100\,000$. В таблице 1 приведем данные о количестве дней и километров до планового ремонта в этих случаях.

Таблица 1.
Данные о количестве километров и дней до ремонта

Кол-во км до ремонта	143548	665	198865	17278	6051	72373	2501	23317	27410	90631	18460	42994
Кол-во дней до ремонта	2	4	71	77	79	83	90	92	98	106	114	125
Кол-во км до ремонта	69673	34066	27656	37715	50458	67534	12714	51974	16367	31546	32384	27573
Кол-во дней до ремонта	135	144	144	154	160	160	161	161	172	180	184	191
Кол-во км до ремонта	48288	48072	42490	54148	31241	73995	43001	49288	51872	63043	60743	26186
Кол-во дней до ремонта	195	216	222	236	245	245	272	276	297	300	303	306
Кол-во км до ремонта	36612	128533	69670	89674	70884	93159	93423	39596	93873	67490	73325	12043
Кол-во дней до ремонта	314	317	318	318	320	327	327	335	344	345	351	356
Кол-во км до ремонта	117655	11877	70430	114233	8977	78327	83145	34292	78273	73877	16865	6496
Кол-во дней до ремонта	358	359	370	389	394	396	410	412	414	425	432	438
Кол-во км до ремонта	77204	51497	53710	93079	29083	59903	57380	110608	88367	90629	61746	60260
Кол-во дней до ремонта	441	444	445	447	449	456	475	483	515	530	535	541
Кол-во км до ремонта	83401	95796	102241	104506	50167	8145	59087	60796	93256	42433	97020	142347
Кол-во дней до ремонта	545	551	553	573	574	577	581	583	585	606	620	650
Кол-во км до ремонта	84005	131848	130384	81517	130416	109896	124811	73301	94070	92140	113741	144321
Кол-во дней до ремонта	652	654	676	684	685	691	697	707	715	726	736	747
Кол-во км до ремонта	102477	47759	147077	78562	143361	143654	26937	112502	145128			
Кол-во дней до ремонта	768	803	806	869	869	904	979	983	1026			

На основе представленных в табл. 1 данных построим зоны (не)допустимых значений факторов для различных значений параметров i_1, i_2, i_3 .

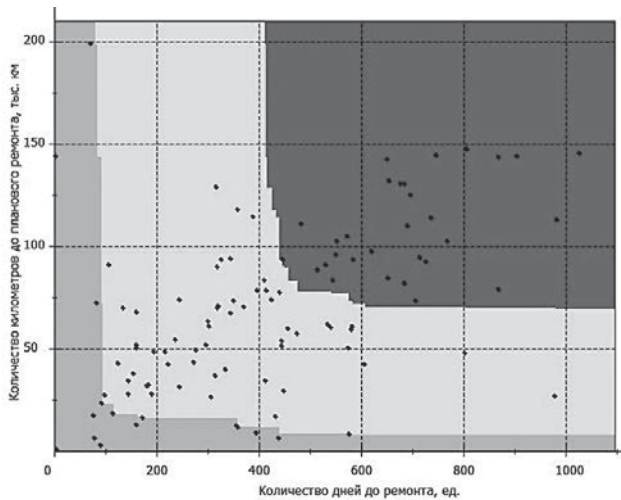


Рис. 1. Диаграмма (не)допустимых значений факторов при $i_1=0,005; i_2=0,001; i_3=0,002$ (слева) и $i_1=0,0001; i_2=0,0005; i_3=0,001$ (справа)

Как следует из рис. 1, изменение значений параметров i_1, i_2, i_3 существенно влияет на зоны (не)допустимых значений факторов излома боковой рамы.

Задав $s_1 = 5 \cdot 10^7, s_2 = 1,25 \cdot 10^8, s_3 = 1,75 \cdot 10^8$, получаем $t_1^* = 620,27; s_1^* = 104561,9; t_2^* = 297; s_2^* = 51974; t_3^* = 114; s_3^* = 27410$ и следующую зону (не)допустимых значений факторов, влияющих на излом боковой рамы

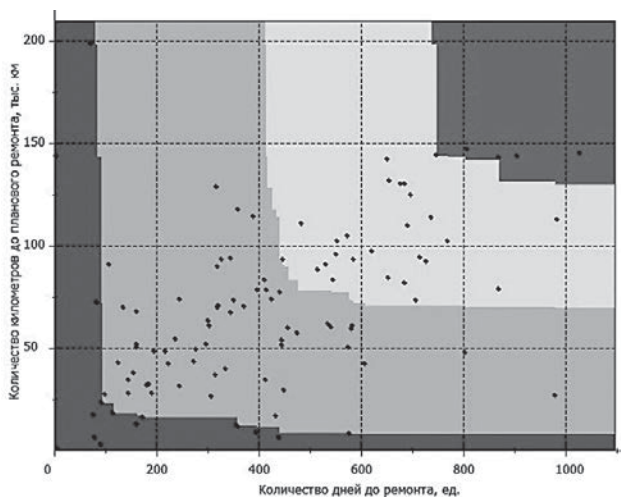


Рис. 2. Диаграмма (не)допустимых значений факторов, построенная на основе решения задач оптимизации

Заключение

В настоящей работе исследована задача по построению зон (не)допустимых значений факторов, влияющих на излом боковой рамы вагона грузового поезда. В качестве таких факторов рассматривались производитель рамы, год литья рамы, количество километров

и дней до следующего планового (капитального/деповского) ремонта. С использованием эвристического индекса опасности факторов были предложены две методики по определению зон (не)допустимых значений факторов.

Литература:

1. Замышляев А.М., Игнатов А.Н. и др. Построение функциональной зависимости между рядом распределения количества вагонов в сходе и различными факторами движения // Надежность. 2018. №1. С. 53-60.
2. 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.
3. Замышляев А.М., Игнатов А.Н., Кибзун А.И., Новожилов Е.О. Методика определения зон (не)допустимых значений факторов для уменьшения риска схода с рельсов вагонов грузового поезда по причине излома боковой рамы. // Надежность. 2019. №3. (принята к публикации).
4. Замышляев А.М., Игнатов А.Н. и др. О вероятности выхода в габарит соседнего пути подвижных единиц грузового поезда // Труды седьмой научно-технической конференции с международным участием «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование. ИСУЖТ-2018». 2018. С. 149-152.
5. ТЕЛЕГРАММА от 21 марта 2013 года N 4812 «О запрете подготовки и подачи вагонов под погрузку грузов при перевозках в международном сообщении, если до истечения межремонтного норматива остается менее 30 суток по календарному сроку или 10 тыс.км по пробегу».
6. ГОСТ 33433-2015 «Безопасность функциональная. Управление рисками на железнодорожном транспорте».
7. Кибзун А. И., Игнатов А.Н. Методика организации профилактики транспортного происшествия // Труды второй научно-технической конференции «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте ИСУЖТ-2013». 2013. С. 177-179.
8. Замышляев А.М., Кан Ю.С., Кибзун А.И., Шубинский И.Б. Статистическая оценка опасности возникновения происшествий на железнодорожном транспорте // Надежность. 2012. №2. С. 104-117.

9. Положение о системе технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов, допущенных в обращение на железнодорожные пути общего пользования в международном сообщении.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Замышляев Алексей Михайлович**
Москва, АО «НИИАС»,
заместитель Генерального директора,
доктор технических наук
a.zamyshlaev@gismps.ru
- **Игнатов Алексей Николаевич**
Москва, МАИ, старший преподаватель кафедры 804
кандидат физико-математических наук
alexei.ignatov1@gmail.com
- **Кибзун Андрей Иванович**
Москва, МАИ,
заведующий кафедрой 804, профессор,
доктор физико-математических наук
kibzun@mail.ru
- **Новожилов Евгений Олегович**
Москва, АО «НИИАС»,
начальник отдела,
кандидат технических наук,
eo.novozhilov@vniias.ru
- **Платонов Евгений Николаевич**
Москва, МАИ, доцент кафедры 804
кандидат физико-математических наук
en.platonov@gmail.com
- **Шубинский Игорь Борисович**
Москва, ЗАО «ИБ Транс», директор,
доктор технических наук, профессор
igor-shubinsky@yandex.ru



УДК 519.248

Соболь В.Р.

Двусторонний и односторонний доверительные интервалы для условной вероятности для анализа и предотвращения транспортных происшествий¹

Введение

Задача оценивания неизвестной условной вероятности $P(A|B)$ возникает во многих прикладных областях. Например, оценки условной вероятности требуются при применении моделей и методов факторного анализа к проблеме мониторинга безопасности на железнодорожном транспорте [1]. В качестве случайного события A обычно выступает определенный вид транспортного происшествия, а в качестве B – тот или иной фактор опасности, при появлении которого вероятность события A значительно возрастает. Сама условная вероятность выступает в роли основного критерия для лица, принимающего решение о реализации комплекса организационно-технических мер по предотвращению или снижению риска транспортных происшествий.

Задача оценивания неизвестной вероятности является частным случаем задачи статистического оценивания параметров распределений, которая в свою очередь является классической задачей математической

статистики [2]. Очевидно, что в условиях ограниченного объема статистических данных возникает вопрос о точности оценок неизвестных параметров. Для решения указанного вопроса обычно строятся доверительные интервалы для неизвестных параметров. Решению задач доверительного оценивания посвящены, например, публикации [3, 4]. Способам построения доверительных интервалов для условных вероятностей посвящены работы [5, 6]. Доверительные интервалы решают проблему определения погрешности точечных оценок. Это особенно важно при сравнительном анализе вариантов организационно-технических решений по снижению риска транспортных происшествий в условиях стохастической неопределенности, когда к вероятности транспортного происшествия предъявляются жесткие требования, а саму эту вероятность можно оценить лишь статистически.

В общем случае задача доверительного оценивания параметров распределений, как правило, не решается точно для выборки конечного объема. Одним из ис-

¹ Результаты работы получены при поддержке РФФИ и ОАО «РЖД» в рамках научного проекта № 17-20-03050 офи_м_РЖД

ключений является случай, когда речь идет об оценке параметров нормального распределения. Поэтому задача доверительного оценивания часто решается приближенно. Наиболее известным способом приближенного решения является построение асимптотических доверительных интервалов [2], обеспечивающих выполнение требуемого вероятностного неравенства в асимптотике, когда объем выборки стремится к бесконечности. Для построения асимптотического доверительного интервала обычно используется центральная предельная теорема и известные доверительные интервалы для случая нормального распределения.

В представленной работе решаются задачи построения одностороннего и двустороннего асимптотических доверительных интервалов для неизвестной условной вероятности независимо от распределения. Предложенный далее способ построения доверительного интервала является более простым с точки зрения вычислений относительно иных способов [5, 6] и, как показал вычислительный эксперимент, как минимум не уступает по точности. Кроме того, предлагаемый способ позволяет уточнить получаемую интервальную оценку путем учета различных априорных ограничений на параметры задачи.

Поставленная задача рассматривается с учетом различных априорных ограничений на вероятности событий A и B . В частности, во всех постановках будет предполагаться, что $P(B)$ отделима от нуля на известную величину. Применяемый подход может быть легко обобщен на случай, когда, например, на $P(A)$ имеется априорное ограничение сверху. Стоит отметить, что поскольку $P(A|B) = P(AB)/P(B)$, где $P(AB)$ и $P(B)$ неизвестны и могут быть только статистически оценены, то задача построения доверительного интервала для условной вероятности представляет собой проблему доверительного оценивания значения нелинейной функции от вектора неизвестных параметров. К настоящему времени общие методы решения таких задач отсутствуют.

Основные определения

Введем основные определения. В [2] введено следующее понятие.

Пусть $Z_n = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ – выборка объема n , где X_1, \dots, X_n – независимые одинаково распределенные величины, распределение которых зависит от неизвестного параметра θ . Пусть задан уровень доверительной вероятности $\alpha \in (0; 1)$ и определены статистики $a_n \triangleq f_1(Z_n)$ и $b_n \triangleq f_2(Z_n)$. Интервал $(-\infty, b_n)$ называется верхним α -доверительным для параметра θ , если

$$P(-\infty < \theta < b_n) \geq \alpha.$$

Интервал (a_n, ∞) называется нижним α -доверительным для параметра θ , если

$$P(a_n < \theta < \infty) \geq \alpha.$$

Интервал (a_n, b_n) называется α -доверительным для параметра θ , если

$$P(a_n < \theta < b_n) \geq \alpha.$$

Аналогичным образом определяются асимптотические доверительные интервалы, но соответствующее неравенство выполняется в асимптотике, при стремлении объема выборки к бесконечности:

$$\liminf_{n \rightarrow \infty} P(-\infty < \theta < b_n) \geq \alpha,$$

$$\liminf_{n \rightarrow \infty} P(a_n < \theta < \infty) \geq \alpha,$$

$$\liminf_{n \rightarrow \infty} P(a_n < \theta < b_n) \geq \alpha.$$

Постановка задачи

Рассмотрим серию из n опытов, в каждом из которых могут произойти случайные события A и B . Предполагается, что в схеме опытов выполняются условия однородности и независимости. Пусть T_{AB} – частота появления события AB в серии из n опытов, а T_B – частота появления события B в той же серии опытов. Вероятность события AB примем равной P_{AB} , а события B равной P_B :

$$P_B \triangleq P(B) \geq \varepsilon_1 > 0, P_{AB} \triangleq P(AB).$$

Если под событием A будем понимать транспортное происшествие, а под событием B – появление негативного фактора, оказывающего влияние на возникновение транспортного происшествия, то с точки зрения построения статистического критерия опасности возникновения транспортных происшествий имеет смысл рассмотреть только тех факторов, вероятность появления которых не является пренебрежимо малой величиной. Это позволяет использовать предположение о том, что вероятность события B не меньше некоторой известной положительной величины ε_1 .

Условная вероятность события A при условии B равна

$$P_{A|B} = \frac{P_{AB}}{P_B}.$$

В качестве оценки условной вероятности события будем использовать отношение частот. Представим оценку неизвестной условной вероятности события A при условии B как отношение случайных величин T_{AB} и T_B , являющихся суммой независимых случайных величин, распределенных по закону Бернулли:

$$T_{AB} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \xi_i, \quad T_B = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \eta_i,$$

$$\eta_i \sim Bi(1, P_B), \quad \xi_i \sim Bi(1, P_{AB}).$$

Случайная величина ξ_i принимает значение 1, если в i -м опыте появилось событие AB , и 0, если AB в i -м опыте не реализовалось. Аналогично величина η_i принимает значение 1, если в i -м опыте появилось событие

B , и 0, если B в i -м опыте не реализовалось. Очевидно, что для любого i случайные величины η_i и ξ_i зависимы. Оценкой условной вероятности является случайная величина

$$\hat{P}_{A|B} = \begin{cases} \frac{T_{AB}}{T_B}, & \text{если } T_B \neq 0, \\ 0, & \text{если } T_B = 0. \end{cases}$$

Отметим, что отношение частот не определено в случае, когда в серии испытаний ни разу не реализовалось событие B . Однако при сделанных предположениях о величине P_B вероятность такого события не превосходит $(1-\varepsilon_1)^n$ и стремится к нулю при $n \rightarrow \infty$.

Будем искать доверительный интервал уровня α для неизвестной условной вероятности $P_{A|B}$ в виде

$$P\left(\frac{T_{AB}}{T_B} - a \leq \frac{P_{AB}}{P_B} \leq \frac{T_{AB}}{T_B} + b\right) \geq \alpha, \quad (1)$$

где a – детерминированная константа, подлежащая определению, а $\alpha > 0,5$ – заданная доверительная вероятность. Задача построения доверительного интервала сводится к максиминной задаче оптимизации:

$$\max_{P_{AB}, P_B} \min_{a, b}, \quad (2)$$

при ограничениях

$$P\left(\frac{T_{AB}}{T_B} - a \leq \frac{P_{AB}}{P_B} \leq \frac{T_{AB}}{T_B} + b\right) \geq \alpha,$$

$$\varepsilon_1 \leq P_B \leq 1, \quad 0 \leq P_{AB} \leq P_B.$$

Односторонний доверительный интервал

Для начала рассмотрим односторонний доверительный интервал вида

$$P\left(T_{AB} \leq \left(\frac{P_{AB}}{P_B} + a\right)T_B\right) \geq \alpha.$$

Представим разность левой и правой части в виде суммы

$$T_{AB} - \left(\frac{P_{AB}}{P_B} + a\right)T_B = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\xi_i - \left(\frac{P_{AB}}{P_B} + a\right)\eta_i\right)$$

Обозначим слагаемое под знаком суммы как

$$\zeta_i \triangleq \xi_i - \left(\frac{P_{AB}}{P_B} + a\right)\eta_i$$

С учетом требования независимости опытов в серии испытаний, величины ζ_i также являются независимыми. Моментные характеристики этой случайной величины равны соответственно:

$$M[\zeta_i] = -aP_B, \quad D[\zeta_i] = a^2(P_B - P_B^2) + P_{AB} \left(1 - \frac{P_{AB}}{P_B}\right).$$

С учетом центральной предельной теоремы получаем, что при $n \rightarrow \infty$

$$\frac{\sum_{i=1}^n \zeta_i - nM[\zeta_i]}{\sqrt{nD[\zeta_i]}} \xrightarrow{F} \chi \sim N(0,1),$$

где \xrightarrow{F} обозначает сходимость по распределению. То есть при больших n выполняется приближенное равенство:

$$P\left(\sum_{i=1}^n 0\zeta_i \leq 0\right) \approx P\left(nM[\zeta_i] + \chi\sqrt{nD[\zeta_i]} \leq 0\right) = P\left(\chi \leq \frac{-nM[\zeta_i]}{\sqrt{nD[\zeta_i]}}\right).$$

Следовательно, равенство

$$P\left(\sum_{i=1}^n \zeta_i \leq 0\right) = \alpha$$

при больших n можно заменить условием

$$\frac{-nM[\zeta_i]}{\sqrt{nD[\zeta_i]}} = t_\alpha,$$

где t_α – квантиль уровня α стандартного нормального распределения. Получаем уравнение относительно неизвестного параметра a :

$$\frac{naP_B}{\sqrt{n(a^2(P_B - P_B^2) + P_{AB}(1 - \frac{P_{AB}}{P_B}))}} = t_\alpha.$$

После преобразования получаем:

$$a^2(nP_B - t_\alpha^2(1 - P_B)) = t_\alpha^2 \frac{P_{AB}}{P_B} \left(1 - \frac{P_{AB}}{P_B}\right). \quad (3)$$

В предположении, что известна только нижняя граница ε_1 допустимых значений вероятности события B , в качестве верхней оценки правой части равенства (3) можно использовать величину $t_\alpha^2/4$. Тогда

$$a^2 \leq \frac{t_\alpha^2}{4P_B(n + t_\alpha^2) - 4t_\alpha^2}.$$

С учетом ограничения на P_B получаем

$$a^2 \leq \frac{t_\alpha^2}{4P_B(n + t_\alpha^2) - 4t_\alpha^2} \leq \frac{t_\alpha^2}{4\varepsilon_1(n + t_\alpha^2) - 4t_\alpha^2}.$$

откуда получаем верхнюю оценку для неизвестного параметра a :

$$\hat{a} = \frac{t_\alpha}{2\sqrt{\varepsilon_1(n + t_\alpha^2) - t_\alpha^2}}. \quad (4)$$

Двусторонний доверительный интервал

Из центральной предельной теоремы следует, что частоты событий AB и B сходятся по распределению к гауссовским случайным величинам:

$$T_{AB} \xrightarrow{F} U_{AB} \sim N\left(P_{AB}, \frac{P_{AB}(1 - P_{AB})}{n}\right),$$

$$T_B \xrightarrow{F} U_B \sim N\left(P_B, \frac{P_B(1-P_B)}{n}\right).$$

Плотность распределения случайной величины U_B имеет вид:

$$f_{U_B}(x) = \frac{\sqrt{n}}{\sqrt{2\pi P_B(1-P_B)}} e^{-\frac{n(x-P_B)^2}{2P_B(1-P_B)}}.$$

Количество реализаций события AB в серии из n испытаний при условии, что событие B произошло i раз, будет иметь биномиальное распределение:

$$nT_{AB} |_{T_B=\frac{i}{n}} \sim Bi\left(i, \frac{P_{AB}}{P_B}\right).$$

При этом, такая условная частота также представима в виде суммы независимых одинаково распределенных случайных величин. Следовательно:

$$T_{AB} |_{T_B=x} \xrightarrow{F} U_{AB} |_{U_B=x} \sim N\left(x \frac{P_{AB}}{P_B}, \frac{xP_{AB}(P_B - P_{AB})}{nP_B^2}\right),$$

где $x > 0$. С учетом этого, вероятность в (1) будет стремиться к значению вероятности аналогичного неравенства для величин U_{AB} и U_B :

$$\begin{aligned} P\left(\frac{T_{AB}}{T_B} - a \leq \frac{P_{AB}}{P_B} \leq \frac{T_{AB}}{T_B} + b\right) &\xrightarrow{n \rightarrow \infty} \\ &\rightarrow M\left[P\left(\frac{U_{AB}}{U_B} - a \leq \frac{P_{AB}}{P_B} \leq \frac{U_{AB}}{U_B} + b \middle| U_B\right)\right] \end{aligned}$$

Эта условная вероятность в может быть найдена непосредственно:

$$\begin{aligned} P\left(\frac{U_{AB}}{U_B} - a \leq \frac{P_{AB}}{P_B} \leq \frac{U_{AB}}{U_B} + b \middle| U_B\right) &= \\ &= \Phi_0\left(\frac{a\sqrt{P_B^2 n U_B}}{\sqrt{P_{AB}(P_B - P_{AB})}}\right) + \Phi_0\left(\frac{b\sqrt{P_B^2 n U_B}}{\sqrt{P_{AB}(P_B - P_{AB})}}\right), \end{aligned} \quad (5)$$

где $\Phi_0(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{1}{2}y^2} dy$.

Соотношение (5) справедливо только при $U_B > 0$, но U_B имеет нормальное распределение, а значит $P\{U_B \leq 0\} > 0$. Однако, математическое ожидание U_B положительно ($\epsilon_1 < M[U_B] < 1$), а дисперсия обратно пропорциональна объему выборки. Следовательно, можно задать условие на объем выборки:

$$n \geq \frac{1}{4(\min\{1-T_B, T_B - \epsilon_1\})^2} t_{\frac{1+\beta}{2}}^2, \quad (6)$$

Задача по определению границ искомого доверительного интервала сводится к следующей максимальной задаче:

$$a + b \rightarrow \max_{P_{AB}, P_B} \min_{a, b}, \quad (7)$$

при ограничениях

$$P\left(\frac{U_{AB}}{U_B} - a \leq \frac{P_{AB}}{P_B} \leq \frac{U_{AB}}{U_B} + b\right) \geq \alpha,$$

$$P_B - t_{\frac{1+\beta}{2}} \frac{1}{\sqrt{4n}} \geq \epsilon_1, \quad P_B + t_{\frac{1+\beta}{2}} \frac{1}{\sqrt{4n}} \leq 1, \quad 0 \leq P_{AB} \leq P_B.$$

Ограничения на P_B являются следствием условия (6). Вероятность в ограничениях задачи (7) является строго возрастающей функцией по аргументам a и b . Как следует из соотношений (5), неизвестная вероятность P_{AB} входит только в знаменатель аргумента функции Φ_0 , а максимум знаменателя достигается при $P_{AB}^* = \frac{P_B}{2}$.

Следовательно,

$$\begin{aligned} \hat{P}\left(\frac{U_{AB}}{U_B} - a \leq \frac{P_{AB}}{P_B} \leq \frac{U_{AB}}{U_B} + b\right) &\geq \\ &\geq \int_{\epsilon_1}^1 [\Phi_0(a\sqrt{4nx}) + \Phi_0(b\sqrt{4nx})] f_{U_B}(x) dx. \end{aligned}$$

Это выражение, при выполнении условия (6), соответствует приближенному значению математического ожидания строго возрастающей вогнутой функции от U_B . Значит минимум правой части достигается при минимальном допустимом значении P_B :

$$P_B^* = \epsilon_1 + t_{\frac{1+\beta}{2}} \frac{1}{\sqrt{4n}}.$$

Таким образом, нижней оценкой вероятности в ограничении задачи (7), не зависящей от P_{AB} и P_B , является следующее выражение:

$$\begin{aligned} \hat{P}\left(\frac{U_{AB}}{U_B} - a \leq \frac{P_{AB}}{P_B} \leq \frac{U_{AB}}{U_B} + b\right) &\geq \\ &\geq \int_{\epsilon_1}^1 [\Phi_0(a\sqrt{4nx}) + \Phi_0(b\sqrt{4nx})] \cdot \\ &\cdot \frac{\sqrt{n}}{\sqrt{2\pi P_B^*(1-P_B^*)}} e^{-\frac{n(x-P_B^*)^2}{2P_B^*(1-P_B^*)}} dx. \end{aligned}$$

Для нахождения границ доверительного интервала остается найти такие a и b , при которых эта нижняя оценка оказывается не меньше α . Если дополнительно предположить, что $a = b$, то для границ такого доверительного интервала удастся аналитически найти верхние оценки:

$$P\left(\frac{U_{AB}}{U_B} - a \leq \frac{P_{AB}}{P_B} \leq \frac{U_{AB}}{U_B} + a\right) \geq 2\beta \Phi_0(a\sqrt{4n\epsilon_1}) \geq \alpha.$$

Получаем верхнюю оценку для параметра a :

$$\hat{a} = \frac{1}{\sqrt{4n\epsilon_1}} t_{\frac{1+\alpha/\beta}{2}}$$

Пример

Примем уровень доверительной вероятности α равным 0,9. Пусть в серии из $n=2000$ опытов частота T_{AB} события AB равна 0,06; а $T_B=0,3$. Пусть $P(B)>0,2$; тогда оценка условной вероятности равна:

$$\hat{P}_{A|B} = \frac{T_{AB}}{T_B} = 0,2.$$

Минимальный объем выборки в соответствии с условием (6) равен 111 наблюдениям, то есть имеющаяся выборка является достаточной. По результатам расчетов, величины \hat{a} и \hat{b} равны: $\hat{a} = \hat{b} = 0,0365$.

Заключение

Получены аналитические выражения для границ асимптотического доверительного интервала для неизвестной условной вероятности. Указанные доверительные интервалы могут быть построены при различных априорных ограничениях на вероятности событий A и B . Основным допущением является то, что $P(B)$ отделима от нуля на известную величину. Полученный результат планируется использовать для построения новых критериев опасности возникновения происшествий на транспорте.

Литература:

1. Замышляев А.М., Кан Ю.С., Кибзун А.И. и др. Статистическая оценка опасности возникновения происшествий на железнодорожном транспорте // Надежность. 2012. № 2 (41). С. 104–117.

2. Ивченко Г.И., Медведев Ю.И. Математическая статистика. М.: Высш. шк., 1992.
3. Кан А.В., Кан Ю.С. О гарантирующем объеме выборки в задаче оценивания неизвестной вероятности // АиТ. 2010. № 3. С. 46–53.
4. Kan A.V., Kan Y.S. On Guaranteed Sample Volume in the Problem of Estimating Unknown Probability // Autom. Remote Control. 2010. V. 71. No. 3. P. 406–412.
5. Кан А.В., Кан Ю.С. Гарантирующее доверительное оценивание параметров ряда распределений // Вестн. МАИ. 2008. Т. 15. № 2. С. 45–50.
6. McLachlan G.J. Confidence Intervals for the Conditional Probability of Misallocation in Discriminant Analysis // Biometrics. 1975. No. 31. P. 161–167.
7. Alexopoulos C. Distribution-free Confidence Intervals for Conditional Probabilities and Ratios of Expectations // Management Sci. 1994. V. 40. No. 12. P. 1748–1763.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

- **Соболь Виталий Романович**
Москва, МАИ НИУ, доцент кафедры 804
кандидат физико-математических наук,
vitsobol@mail.ru



УДК 656.212.5

Гибнер Я.М., Пушкарев Е.А.

Использование нейронных сетей для повышения эффективности работы операторов КСАУ СП¹

Наиболее сложным и ответственным горочным технологическим процессом при роспуске составов является процесс регулирования скорости. Она должна гарантировать максимальный темп роспуска составов и необходимый интервал на стрелках разделения маршрутов. При этом отцеп должен достигнуть заданной точки сортировочного пути с безопасной скоростью [1].

В этом процессе задействовано наибольшее число оперативного персонала. В среднем, количество операторов и составителей-регулирующих скорости, выполняющих торможение отцепов на крупных механизированных горках (при четырехсменном графике работы), достигает 55 человек. На немеханизирован-

ных горках с числом путей до 30 количество составителей – регулировщиков скорости также составляет от 45 до 60 человек [2]. Поэтому вопрос автоматизации регулирования скорости скатывания отцепов является очень актуальным.

Процесс расчета скорости скатывания отцепов через тормозные позиции сортировочной станции, оборудованной комплексной системой автоматизации управления сортировочным процессом (КСАУ СП), представляет собой сложную математическую модель.

При расчете скорости торможения учитываются такие факторы как:

- вес отцепа;
- скорость скатывания отцепа;

¹ Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 17-20-01040)

- индивидуальные особенности отцепа (его ходовые свойства);
- климатические параметры: температура воздуха, скорость и направление ветра, наличие и тип осадков.

Из-за отклонений в профиле пути или изменений погодных условий происходит недотормаживание или перетормаживание отцепов. Согласно отчетам оперативного персонала сортировочных станций, в среднем объединение вагонов со скоростью, превышающей норму (т.е. 5 км/ч) происходит в 4 случаях из 20 [3]. Каждый такой случай попадает в систему учета инцидентов и рассматривается операторами КСАУ СП.

По результатам расследования производится корректировка в графике расчетного торможения. Анализ каждого инцидента занимает у специалистов много времени вследствие использования экспертных оценок при изучении графиков торможения определенных отцепов.

При этом используются исчерпывающие данные для анализа скорости: скорость проезда по всем тормозным позициям и скорость движения отцепов по парку, данные о метеоусловиях, категория вагона и его вес. Всё это актуализирует задачу создания инструментария, позволяющего в автоматическом режиме проанализировать и предложить оператору КСАУ СП решение на основании этих данных.

В общем виде алгоритм действий оператора при анализе инцидентов, связанных с торможением отцепов, разделен на несколько шагов:

- 1) получение данных (номер сортировочного листа, номер отцепов);
- 2) загрузка протокола и поиск объекта;
- 3) анализ графика скатывания отцепов по тормозным позициям и его движение в парке;
- 4) корректировка графика целевой скорости;
- 5) повторный анализ на отцепках с похожими характеристиками по тем же тормозным позициям и путям.

В результате оператор должен предоставить исправленный график целевых скоростей.

Описанные выше процессы создают идеальные условия для использования нейронных сетей. В настоящее время нейроинформационные системы находят все более широкое применение в частности, в автоматизации технологических процессов, адаптивном управлении сложными и распределенными системами, где информация искажается имеющимися во всех технических объектах шумами [4].

Искусственные нейронные сети, подобно биологическим, являются вычислительной системой с огромным числом параллельно функционирующих простых

процессоров с множеством связей. Несмотря на то, что при построении таких сетей обычно делается ряд допущений и значительных упрощений, отличающих их от биологических аналогов, искусственные нейронные сети демонстрируют удивительное число свойств, присущих мозгу, – это обучение на основе опыта, обобщение, извлечение существенных данных из избыточной информации [5].

В упрощенном виде нейронную сеть можно увидеть на рисунке 1, где:

$x_1 \dots x_n$ – вектор входных данных;

$w_1 \dots w_n$ – весовые коэффициенты, настраиваемые сетью в процессе обучения;

Σ – сумматор, агрегирующий все сигналы во взвешенную сумму (net);

φ – функция активации, которая преобразует взвешенную сумму в некоторое число, являющееся выходом нейрона.

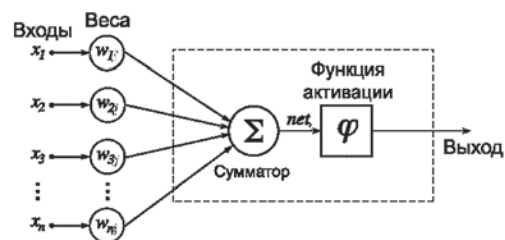


Рис.1. Схема искусственного нейрона

На практике используются многослойные нейронные сети (рис. 2).

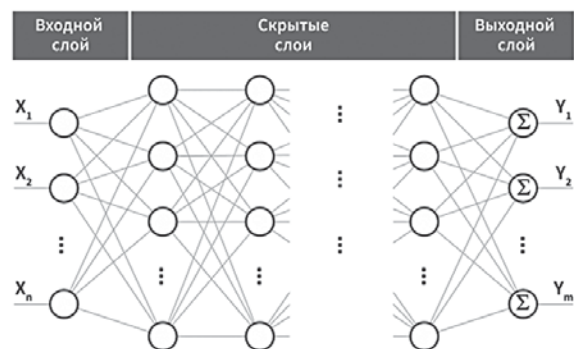


Рис.2. Схема многослойной нейронной сети

Способности нейронной сети к прогнозированию напрямую следуют из ее способности к обобщению и выделению скрытых зависимостей между входными и выходными данными. После обучения сеть способна предсказать будущее значение некой последовательности на основе нескольких предыдущих значений или каких-то существующих в настоящий момент факторов.

Вектором входных данных для нейросети в нашем случае являются [6]:

- вес отцепа – поступает от весомера;
- количество вагонов, тип вагонов – поступает от измерительного участка;
- скорости прохождения отцепом контрольных участков горки (рассчитываются моделью движения);
- погодные условия (дождь, ветер, температура воздуха) – поступают от метеостанции;

Автоматизация анализа инцидентов, связанных с торможением отцепов с помощью внедрения нейронных сетей позволит снизить количество времени необходимое эксперту для оценки эффективности торможения.

После достаточного обучения нейронной сети, следующим шагом станет внедрение непрерывного анализа всех отцепов на сортировочной горке и выдача сообщений о необходимости проверки и принятия решения об изменении графика.

Конечным результатом будет автоматическая корректировка графиков скоростей по каждому пути всего парка сортировочной горки.

Благодаря использованию в КСАУ СП алгоритмов искусственного интеллекта и современных средств обработки информации имеется тенденция к переходу на полностью безлюдные технологии организации сортировочных процессов [7]. Эта тенденция так же обусловлена реализацией концепции «Цифровой железной дороги» и технологий промышленного интернета вещей.

В частности 19 марта 2019 года Глава Правительства России Дмитрий Медведев подписал распоряжение №466-р, которым утверждена долгосрочная программа развития «Российских железных дорог» (ОАО «РЖД») до 2025 г. Отдельная часть документа посвящена проекту «Цифровая железная дорога».

Литература:

1. Шумский А.В., Рогов С.А. Проблемы автоматизации управления вагонными замедлителями // Автоматика, связь, информатика, №11, 2007, С. 17-20.
2. Шабельников А.Н. Монгольская горка: импульс для разбега // Пульт управления. Журнал для руководителей компаний транспортной отрасли. – № 02 (22). – 2015.
3. Шабельников А.Н., Суханов А.В., Суханова М.В. Адаптация моделей глубокого обучения для контроля подвижных единиц на сортировочной станции // Труды Конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям «IS&IT'19». – Т.2. – М.: Физматлит, 2019. –С. 63-70.
4. Комашинский В.И., Смирнов Д.А. Нейронные сети и их применение в системах управления и связи. М.: Горячая линия – Телеком, 2003.
5. Богославский С. Н. Область применения искусственных нейронных сетей и перспективы их развития // КубГАУ. – №27 (3). – 2007.
6. Шабельников А.Н. Комплексная система автоматизации управления сортировочным процессом – инновационный проект российский железных дорог. Монография. – Москва: ВИНТИ РАН, 2017. – 242 с.
7. Шабельников А. Н. Комплексная система автоматизированного управления сортировочным процессом: задачи, функции, основные показатели // Железнодорожный транспорт. – 2015. – №. 10. – С. 34-37.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Гибнер Яков Михайлович**
Ростов-на-Дону, филиал АО «НИИАС»,
старший научный сотрудник центра
инновационных и интеллектуальных
технологий на железнодорожном транспорте,
кандидат технических наук
gibner88@mail.ru
- **Пушкарев Евгений Александрович**
Ростов-на-Дону, филиал АО «НИИАС»,
главный конструктор сектора
разработки программных продуктов
epushkarev@rfnias.ru



УДК 656.212.5

Горбунов Г.Г., Рубцов Д.В., Смирнов А.Е.

Развитие математических моделей и программных средств для разработки схем размещения и развития сортировочных станций

Рациональное размещение сортировочных станций на сети отечественных железных дорог – важнейшая задача в части организации перевозочного процесса на долгосрочную перспективу. Связано это прежде всего с необходимостью заблаговременного планирования как технологии работы железных дорог, так и с необходимостью развития сортировочных станций для обеспечения освоения перспективных поездопотоков.

Одним из инвестиционных проектов, реализуемых ОАО «РЖД» и направленных на своевременное прогнозирование возникающих дефицитов в мощностях сортировочных станций и недопущение замедления продвижения вагонопотоков, является «Схема размещения и Программа развития сортировочных станций» (далее – Схема) [1, 2].

Разработка Схемы является многоэтапной задачей, неразрывно связанной с использованием современных автоматизированных систем по расчету нормативов плана формирования, а также пропускных и перерабатывающих способностей для каждого рассматриваемого объекта станционной инфраструктуры. Кроме того, расчеты пропускных и перерабатывающих способностей станций должны основываться на актуальных данных о технической оснащенности и путевом развитии объектов станционной инфраструктуры.

Использование автоматизированных систем необходимо в первом, четвертом, пятом, шестом, седьмом и восьмом этапах разработки Схемы, связанных как с анализом существующего положения, так и с прогнозными расчетами состояния инфраструктуры на рассматриваемую перспективу при разных входных данных (рис.1).

Используемые автоматизированные системы подразделяются на два блока: блок мониторинга текущего состояния и блок проведения вариантных расчетов (рис.2).

К блоку мониторинга текущего состояния относится автоматизированная система ведения техническо-распорядительных актов железнодорожных станций – АС ТРА, позволяющая получить наиболее актуальную информацию о путевом развитии станции и ее технической оснащенности.



Рис.1. Этапность разработки Схемы размещения и Программы развития сортировочных станций.



Рис.2. Используемые автоматизированные системы при разработке Схемы.

Также при разработке Схемы используется автоматизированная система ведения технологических процессов работы станции – АС ВТП, представляющая собой базу данных с актуальными временными нормативами на выполнение технологических операций, выполняемых на станциях, и технологией работы станций.

Анализ существующего плана формирования выполняется с использованием Портала организации вагонопотоков автоматизированной системы организации вагонопотоков.

Данные системы позволяют получить актуальную информацию для оценки текущего состояния инфраструктуры и информацию о структуре организации вагонопотоков, что является важным этапом и основой для выполнения дальнейших проработок.

К блоку проведения вариантных расчетов относится автоматизированная система расчета пропускной и перерабатывающей способности станций – АС ППСС.

Данная система позволяет не только получить информацию о существующей пропускной способности рассматриваемых объектов станционной инфраструктуры, ежегодно обновляемую в процессе формирования Паспорта наличной пропускной способности железных дорог ОАО «РЖД», который, в свою очередь, также представлен в автоматизированной системе Паспорт наличной пропускной способности – АС Паспорт НПС, но и произвести расчеты пропускной способности на рассматриваемую перспективу при различных задаваемых параметрах, связанных с изменением размеров движения по станции, путевого развития, технического оснащения и технологии работы. Первая версия данной системы введена в эксплуатацию в ОАО «РЖД» в 2003 г. Модернизация осуществлялась до 2012 г. по мере появления новых методик выполнения расчетов.

Не менее важной составляющей разработки Схемы является оценка достаточности перерабатывающих способностей сегодняшним и перспективным требованиям. Вычисление расчетных нормативов плана формирования на сегодняшнее состояние и рассматриваемую перспективу производится в подсистеме Компьютерный паспорт сортировочной станции Автоматизированной системы организации вагонопотоков (КПСС), разработанной в начале 2000 годов. КПСС является единственной системой, содержащей технологические нормативы работы сортировочных станций.

При этом данные системы – АС ППСС и КПСС – взаимосвязаны между собой. Так, расчет технически допустимой переработки вагонов в подсистеме КПСС выполняется с использованием данных о пропускной способности конкретных элементов, рассчитываемых в системе АС ППСС. При этом в обе системы заносятся данные о существующем путевом развитии станции и ее технической оснащенности, а также временные нормативы на выполнение технологических операций из системы АС ВТП.

В соответствии с современными подходами и методологией разработки расчетных нормативов работы станций, расчета пропускной и перерабатывающей способности станций необходимо объединить функции, автоматизированные в АС ППСС и КПСС, в рамках единого программного обеспечения, при этом

расширив спектр решаемых задач за счет обеспечения автоматизированного анализа реального использования пропускной и перерабатывающей способности, в том числе с учетом данных отчетных форм ДО-6ВЦ «Отчет о простое грузовых вагонов рабочего парка на станции» и

ДО-24ВЦ «Отчет о работе сортировочных станций».

Новая система должна взаимодействовать с эксплуатируемыми в ОАО «РЖД» автоматизированными системами и включать подсистемы *ведения технологических параметров и нормативов работы станции и расчета пропускной и перерабатывающей способности станции* (рис.3).

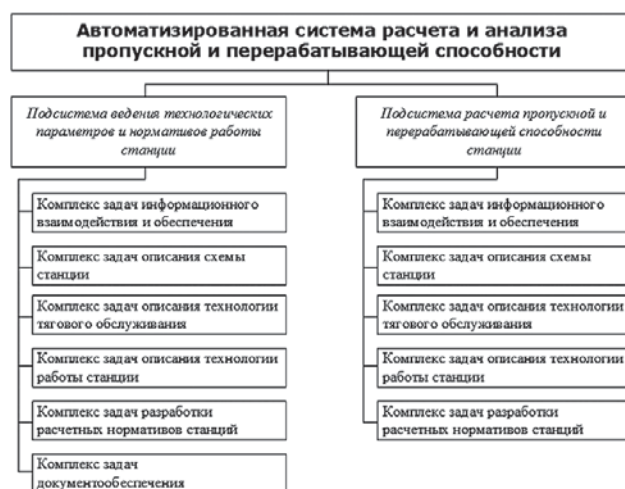


Рис.3. Общая функциональная архитектура автоматизированной системы расчета и анализа пропускной и перерабатывающей способности.

Подсистема ведения технологических параметров и нормативов работы станции должна обеспечивать:

- создание упрощенной схемы станции в графическом редакторе с возможностью добавления стандартизированных объектов;
- описание технологии и параметров выполнения тягового обслуживания как в маневровой, так и в поездной работе на станции;
- ввод нормативов на выполнение технологических операций;
- определение расчетных нормативов работы станции, влияющих на переработку вагонов;
- экспорт выходных документов в виде согласованных форм;
- хранение информации в созданной единой базе данных на сервере системы.

Подсистема расчета пропускной и перерабатывающей способности станции должна обеспечивать:

- обработку данных об исполненных перевозках с предоставлением распределения по элементам станционной инфраструктуры;

- настройку исходной информации и параметров расчета пропускной и перерабатывающей способности станций;
- ведение согласования расчетов;
- отображение расчетных нормативов работы станции на схеме, разработанной в подсистеме ведения технологических параметров и нормативов работы станции.

С момента утверждения Методики расчетов по размещению и развитию сортировочных станций ОАО «РЖД» в 2007 году произошли существенные изменения в структуре управления перевозками, в том числе передача вагонного парка в управление операторским компаниям.

Произошедшие изменения ведут к необходимости разработки новой Методики расчетов по размещению и развитию сортировочных станций на сети железных дорог ОАО «РЖД», которая должна учитывать:

- взаимоувязку развития сортировочных станций, припортовых узлов, полигонов сети;
- вариативность перспективных вагонопотоков;
- специфику выполнения сортировочной работы в Центральном и Санкт-Петербургском транспортных узлах, где ввиду интенсификации пригородных пассажирских перевозок предъявляются дополнительные требования к наличию полезных станционных емкостей;
- имеющиеся перерабатывающие мощности на важнейших участковых станциях, способных взять на себя переработку местного вагонопотока и высвободить мощности сортировочных станций для работы с транзитным вагонопотоком.

Для соответствия вышеуказанным требованиям и выполнения соответствующих общесетевых оптимизационных расчетов новая система должна иметь функционал, позволяющий реализовать построение сетевых потоковых моделей и пошаговое распределение транспортных потоков и реконструктивных мероприятий по сети взаимодействующих сортировочных станций [3].

Кроме того, новая система в процессе выполнения расчетов должна обеспечивать учет не только эксплу-

атационных затрат на продвижение вагонопотока, но и капитальных вложений в развитие инфраструктуры для дальнейшего выбора в автоматизированном режиме оптимального варианта распределения сортировочной работы на сети ОАО «РЖД» на основе критерия среднего экономического риска, использование которого рекомендовано в приложении 1 Методических указаний [4].

Литература:

1. Бородин А.Ф. Схема размещения и развития сортировочных станций ОАО «РЖД» до 2015 года. – Железнодорожный транспорт, 2008. – № 1. – С. 48 – 54.
2. Бородин А.Ф., Агеев Р.В., Крылов А.С., Сиротич М.Б. Размещение, развитие и взаимодействие сортировочных станций. – Железнодорожный транспорт, 2010. – №8. – С. 15 – 22.
3. Батурин А.П., Бородин А.Ф., Панин В.В., Шумская О.А., Пояркова М.А. Организация сетевых вагонопотоков в однопутные поезда. – Ж. д. транспорт, 2005. – № 6. – С. 17 – 24.
4. Методические указания по сравнению вариантов проектных решений железнодорожных линий, узлов и станций. – МПС СССР, Минтрансстрой СССР. – М.: ВПИТрансстрой, 1988. – 468 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Горбунов Георгий Глебович**
Москва, АО «ИЭРТ», начальник сектора эксплуатации железных дорог и взаимодействия транспортных систем
gorbunovgg@yandex.ru
- **Рубцов Дмитрий Валерьевич**
Москва, АО «ИЭРТ», и.о. начальника отдела отделения эксплуатации железных дорог и взаимодействия транспортных систем
dmitriy.rubtsov@gmail.com
- **Смирнов Алексей Евгеньевич**
Москва, АО «ИЭРТ», ведущий инженер эксплуатации железных дорог и взаимодействия транспортных систем
fischer-barsch@yandex.ru



Бондаренко А.В., Сергеев Б.С.

Сравнение силовых полупроводниковых приборов для устройств электропитания IT- систем

В настоящее время для преобразования электрической энергии с мощностью от сотен ватт до единиц киловатт, а иногда и более, применяются тиристоры или IGBT транзисторы. При их использовании в устройствах электропитания и электроснабжения железнодорожного транспорта реализуются преимущества подобных полупроводниковых приборов по сравнению с традиционными биполярными или МОП транзисторами. Однако при разработке силовых устройств и систем необходимо учитывать определенную специфику функционирования тиристоров и IGBT транзисторов в переходных режимах работы и в условиях необходимости обеспечения заданных параметров электромагнитной совместимости мощных и маломощных элементов электроники.

В настоящей работе рассматривается эта специфика, которая относится к этапам времени подключения этих полупроводниковых приборов к основному силовому источнику электропитания $E_{п}$, когда тиристор или IGBT транзистор заперт, то есть при отсутствии на их входе импульсов управления.

На рис. 1 приведена эквивалентная схема тиристора, потенциальные характеристики которой рассмотрены в [1, 2].

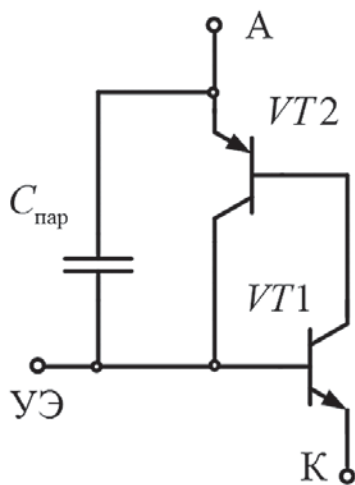


Рис. 1. Эквивалентная схема тиристора

Наличие в схеме конденсатора $C_{пар}$, образованного внутренними паразитными емкостями полу-

проводниковой структуры тиристора, определяет процесс его самовключения при больших скоростях нарастания напряжения питания тиристорного ключа dEn/dt [3]. Очевидно, что это негативно влияет на надежность функционирования тиристорного ключа при наличии значительного уровня электрических и электромагнитных помех в условиях работы локомотивных и стационарных устройств систем преобразования электрической энергии железнодорожного транспорта.

Рассмотрим эквивалентную схему IGBT транзистора (рис. 2). Функционально эта схема более сложна чем схема рис. 1.

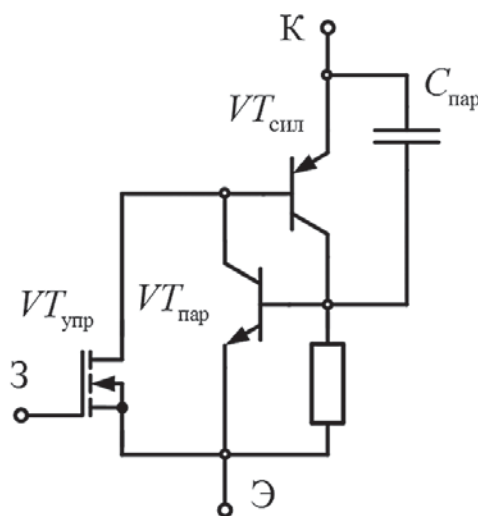


Рис. 2. Эквивалентная схема IGBT транзистора

Здесь в полупроводниковой структуре кроме паразитного конденсатора $C_{пар}$ присутствует паразитный биполярный транзистор $VT_{пар}$. Эти паразитные элементы также могут определять негативные процессы включения IGBT транзистора при значительных величинах скорости нарастания напряжения питания dEn/dt .

Исключение негативного влияния паразитной емкости $C_{пар}$ на функционирование тиристорного ключа может быть нейтрализовано путем шунтирования входа тиристора. Это техническое решение приведено на полной схеме тиристорного ключа рис. 3.

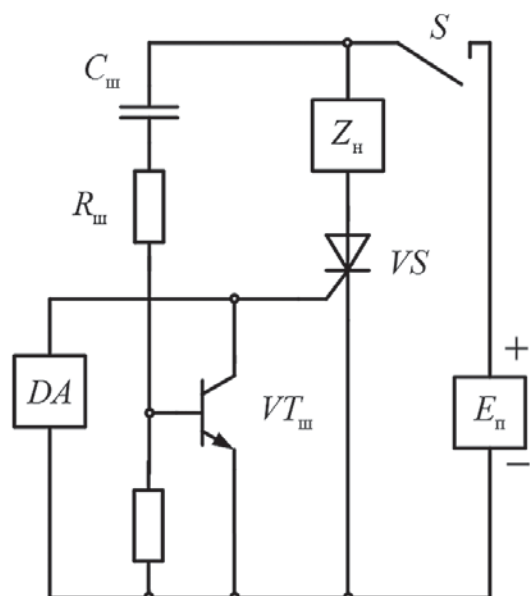


Рис. 3. Схема тиристорного ключа с исключением процесса самовключения тиристора VS

В этой схеме при отсутствии импульсов управления от драйвера DA и в момент подключения через ключ S напряжения питания $E_{п}$ включается биполярный транзистор $VT_{ш}$, шунтируя вход тиристора VS. Управление транзистором $VT_{ш}$ осуществляется дифференцирующей цепочкой $R_{ш}C_{ш}$. Путем выбора ее параметров возможно достижение полного исключения этапа времени самовключения тиристора VS.

Этот схемотехнический метод исключения негативного влияния паразитной емкости полупроводниковой структуры тиристора не может быть применен для схемы ключа на IGBT транзисторе, так как управляющий вход (база) транзистора $VT_{ш}$ не имеет внешнего вывода от его полупроводниковой структуры.

Таким образом, сравнение двух типов полупроводниковых приборов показывает специфическую особенность IGBT транзистора, которая заключается в меньшей его помехоустойчивости.

Литература:

1. Пикалин Ю.А., Сергеев Б.С., Бондаренко А.В. Повышение надежности функционирования силовых преобразователей электрической энергии железнодорожного транспорта // Транспорт Урала. – 2018, № 3(58). – С. 55-57. ISSN 1815-9400.
2. Бондаренко А.В., Сергеев Б.С. Анализ силовых полупроводниковых приборов для устройств электропитания ИТ-систем // Труды VII Научно-технической конференции / Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерные и математическое моделирование (ИСУЖТ). – 2018. – С. 149-142.
3. Бондаренко А.В., Сергеев Б.С., Сулейманов Р.Я. Анализ процессов самовключения тиристорного ключа // Электроника и электрооборудования транспорта. – 2019, № . – С. 36-39. ISSN 1812-6782.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Бондаренко Анна Викторовна**
Екатеринбург, ФГБОУ Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС), кафедра «Электрические машины», доцент
abondarenko@usurt.ru
- **Сергеев Борис Сергеевич**
Екатеринбург, ФГБОУ Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС), кафедра «Электрические машины», доктор технических наук, профессор
sergeew@uralmail.com



УДК 06.35.51; 73.01.77; 73.01.21

Бурков В.Н., Еналеев А.К., Корепанов В.О., Федянин Д.Н., Строгонов В.И.

Методы и программные средства управления внедрением энергоэффективных технологий на железнодорожном транспорте¹

Введение

Принятие решений о включении в программу инновационного развития отрасли разработок и последующее внедрение результатов сложных и дорогостоящих проектов требует их всестороннего анализа, оценок эффективности и их целесообразности. В связи с необходимостью учета многих факторов, зачастую не поддающихся количественному измерению, принятие таких решений неизбежно основывается на использовании экспертных мнений и, как следствие, сопряжено с заметными рисками получения ошибок. Поэтому при решении этих задач полезным является использование автоматизированных систем поддержки принятия решений, которые позволяют снизить возможность принятия ошибочных решений.

В докладе дается описание технологий и разработанных прототипов программных средств для поддержки принятия решений о включении в инновационную программу наиболее эффективных проектов и распределении средств для их финансирования. Приводится пример использования программных средств для ранжирования проектов при формировании инвестиционных программ и внедрения энергоэффективных технологий использования новых видов энергии для тяги поездов и расчета размещения финансирования в сетевой мультипроектной структуре.

Предлагается для проведения анализа и оценки инновационных проектов использовать метод, основанный на иерархической процедуре матричных сверток исходных показателей. Эта технология сверток позволяют оценивать более гибко и адекватно, по сравнению с традиционными, в том числе, линейными свертками, комплексную эффективность проектов. Автоматизация предлагаемой технологии дает возможность достаточно оперативно и наглядно решать соответствующие прикладные задачи.

Для поддержки процедур размещения инвестиций между проектами с сетевой структурой связей предлагается использовать разработанные авторами алгоритмы. Представлено описание программных средств на

основе одного из этих алгоритмов. Приведен модельный пример расчета размещения средств в сетевой структуре проектов.

Предлагаемые программные средства реализуют алгоритмы, представленные в работах [1-4].

Первый алгоритм описывает процесс формирования оценки проекта с учетом его энергоэффективности, основанный на методологии комплексного оценивания, заложенных в работах [5,6]. Алгоритм включает следующие основные блоки: формирование списка исходных проектов, принимаемых к рассмотрению; составление перечня показателей и факторов, характеризующих рассматриваемые проекты; формирование порядковых шкал измерений показателей; формирование дерева попарной свертки показателей; выбор и настройка матриц свертки показателей; выполнение расчетов комплексной оценки и сравнение проектов на основе итоговой комплексной оценки и промежуточных обобщенных показателей.

Второй алгоритм реализует, по сути, задачу распределения ресурса в сложной сетевой структуре и является обобщением решения классической задачи о ранце.

Макет программной реализации комплексного оценивания инновационных проектов

Программа системы комплексного оценивания инновационных проектов разработан в среде РДС (Расчёт динамических систем) [7] и позволяет настраивать дерево оценки, шкалы, матрицы свертки, а затем оценивать проекты.

После запуска программного комплекса появляется окно, показанное на рис. 1.

Блок загрузки данных о проекте показан в виде синего квадрат сверху – при двойном клике правой кнопки мышки откроется таблица с деталями проектов – данные о проектах можно загружать, изменять и сохранять. Таблица показана на рис. 2.

Номер оцениваемого проекта можно менять нажатием на черные треугольники слева вверху – это будет также изменять название проекта в вверху в центре.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и ОАО «РЖД» в рамках научного проекта №17-20-05216



Рис. 1. Главный экран программного комплекса

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0. Сметительное	2	3	3	2	3	3	3	3	2
1.2. Природный	3	3	3	2	3	3	3	3	3
2.3. Природный	4	3	3	3	4	3	3	4	4
3.4. Твердое т.с	3	3	3	3	3	3	3	4	4
4.6. Топливный	4	3	3	3	3	3	3	3	3
5.6. Ядерный	3	3	3	2	3	3	3	2	3
6.7. Магнитный	3	3	3	2	3	3	3	2	3
7.8. Вакуумное	4	2	2	3	3	2	2	2	4

Рис. 2. Таблица исходных данных об инновационных проектах

Под названием проекта отображается серым шрифтом оценка проекта. Она также есть на блоке матрицы свертки итоговой оценки. Справа под названием размещена кнопка «Сохранить результаты...» – при ее нажатии данные об оценке текущего проекта добавляются в таблицу истории оценок. Таблица на примере оценки вакуумно-левитационной технологии показана на рис. 3 – на главном экране она соответствует блоку справа внизу. Ее открыть можно двойным нажатием правой кнопки мыши на блоке.

Слева расположены названия оцениваемых экспертами параметров проекта. Название параметров можно изменять при необходимости.

Граф на главном экране соответствует графу комплексной оценки. На блоках матриц свертки указано название, текстовая оценка и ее числовое значение. Содержимое блоков показано на рис. 4 и рис. 5.

Этот блок обладает расширяемой функциональностью по преобразованию произвольной числовой характеристики в заданную дискретную шкалу. В данном примере основная функция – индикация текущей оценки.



Рис. 3. Таблица сохраненных значений оценок инновационных проектов

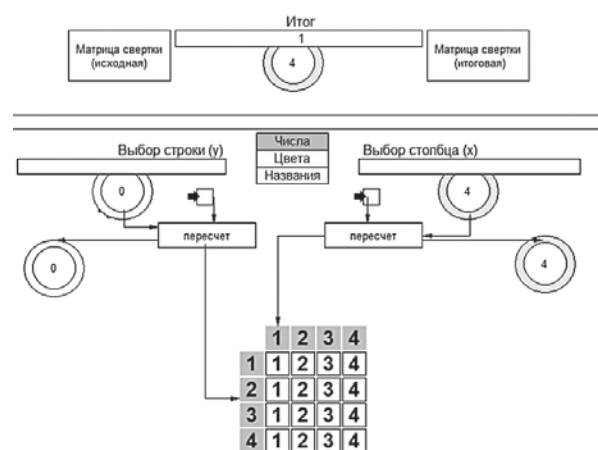


Рис.4. Блок начального преобразования индексов

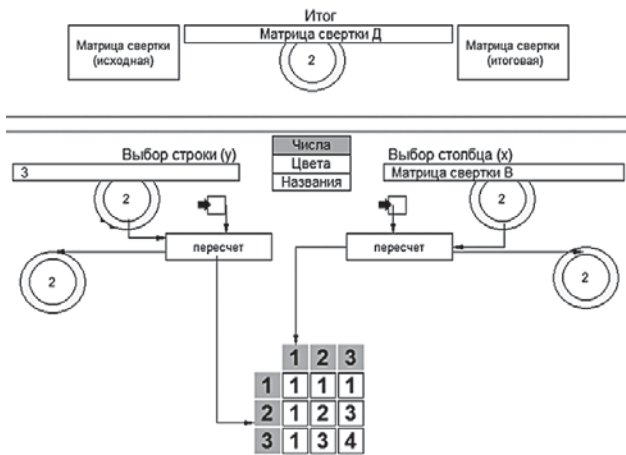


Рис 5. Пример блока матрицы свертки – блок матрицы свертки D

Блоки можно копировать и удалять выбором соответствующих пунктов меню, а также «горячими» сочетаниями клавиш – Ctrl+C, Ctrl+V.

На рис. 4 показан блок начального преобразования индексов (его изменение для настройки системы комплексного оценивания в ее базовом варианте не требуется).

На рис. 5 показан блок матрицы свертки. Слева сверху блок загрузки и изменения матрицы свертки. Он используется, когда матрица свертки заранее задана файлом в формате CSV. Матрица возможно изменять интерактивно. Для этого при нажатии на число в таблице, расположенной в центре, оно изменяется на следующее или на начальное. Комплексная оценка сразу же адаптируется и пересчитывает все оценки на основе новой матрицы свертки. Переключение между режимами цветового представления, числового и текстового в базовом варианте использования не требуется. В блоках в форме окружностей размещены оценки – по центру слева и справа – входящие, по центру сверху – результирующая.

Макет программной реализации алгоритма решения сетевой задачи о ранце

Макет реализован в среде имитационного моделирования РДС для задачи распределения бюджета и отбора проектов.

Окно главной подсистемы мы разбили на области: название модели (вверху), область 1: «Входные данные», область 2: «Граф проектов» и область 3: «Решение», см. рис. 6.

Проекты отображаются в области 2 «Граф проектов» как прямоугольники со скруглёнными краями и в процессе решения меняют свой цвет с жёлтого (состояние «пока не отобран») на зелёный (состояние «отобран для выполнения») или красный – («не будет отобран»). Если проект изначально не попадает в решение

из-за того, что затраты на его реализацию больше бюджета, то он сразу отображается красным.



Рис. 6. Главное окно модели

Процесс решения задачи сводится к следующему:

1. Ввод входных данных в области 1 «Входные данные», рис. 7;

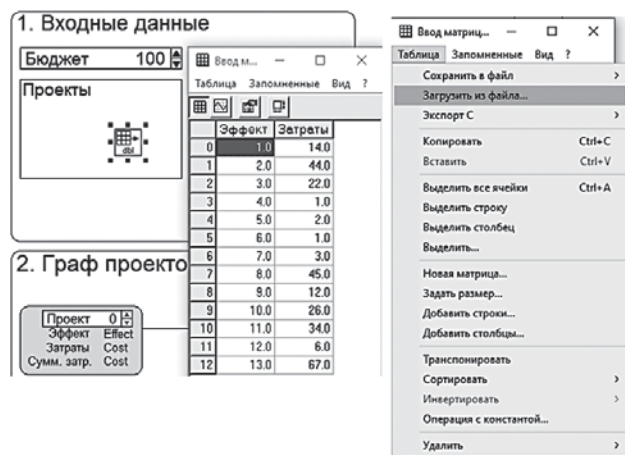


Рис. 7. Входные данные

2. Создание графа проектов и связей между ними в области 2 «Граф проектов», например, создание связи между проектами см. на рис. 8;

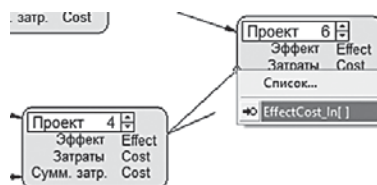


Рис. 8. Создание связей между проектами

3. Запуск расчёта модели, подстройка входных данных и нажатие кнопки «Внести входные данные в модель»;

4. Пошаговое решение задачи нажатием кнопки «Шаг отбора», пока в области 2 «Граф проектов» не останутся только зелёные и красные проекты или, что равносильно, цвет проектов не будет меняться, см. рис. 9;

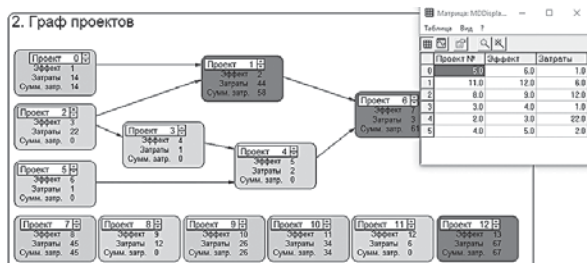


Рис. 9. Процесс решения

5. Просмотр результата решения. Суммарный эффект, затраты на отобранные проекты и сами отобранные проекты можно смотреть в области 3 «Решение», см. рис. 10.



Рис. 10. Результат решения

Также в процессе выполнения шага 4 изменение состояния проектов (цвет скруглённых прямоугольников), оставшийся бюджет, список отобранных проектов и суммарные затраты и эффект от них можно наблюдать в динамике в областях 2 и 3.

Описание использования макета.

Каждый блок в РДС может быть вычислительным блоком, получающим входные данные через входящие стрелки и выдающего результат(ы) через выходящие стрелки, а его внутренняя логика задаётся пользователем с помощью выбора готовых блоков или программированием своего блока. Есть также отдельный вид блоков «подсистема» (выглядят как блоки), которые содержат внутри другие блоки, связанные с входами и выходами подсистемы и между собой для выполнения логически выделенной группы вычислений. Для визуального представления модели в РДС можно создавать несколько слоёв в окнах подсистем для отображения/скрытия всех размещаемых на данном слое блоков и стрелок.

Основная функция стрелок в РДС это передача данных между блоками, по каждой стрелке передаётся один тип данных. Есть также вспомогательная функция – определение направленных связей между блоками. В РДС модель без основной функции стрелок скорее редкость, а с использованием вспомогательной функции наоборот редкость. В данном макете используются обе функции.

Для ввода входных данных пользователь должен выполнить два шага:

Шаг 1. Задать параметры проектов и бюджет. Для этого сначала перейти в режим расчёта модели (меню Расчёт→Старт). Далее, в области «1.Входные данные» задать бюджет для отбора проектов и задать параметры проектов. Параметры проектов задаются по двойному щелчку по пиктограмме ввода матрицы, откроется окно ввода, где параметры проектов (эффект и затраты) можно ввести в табличном виде вручную или загрузить из файла: меню «Таблица», «Загрузить из файла...», см. рис. 2.

Шаг 2. Задать граф проектов и связей между ними. Для этого сначала в режиме редактирования модели (меню Система→Режим редактирования) создаются сами проекты – столько же, сколько и во входных данных, – методом «копирования и вставки» или удалением ненужных блоков. Затем добавляются связи между блоками средствами РДС: связь от проекта А к Б, которая означает, что проект Б можно сделать только после выполнения проекта А, создаётся от переменной-выхода TEffectCost проекта А к незанятому элементу массива переменной-входа EffectCost_In проекта Б, см. рис. 8.

Шаги 1 и 2 можно выполнять в произвольном порядке.

Для решения задачи нужно перейти в режим расчёта модели, нажать кнопку «Внести входные данные в модель», при этом у проектов на графе проектов отобразятся их параметры, они станут жёлтыми (состояние «пока не отобран»), а те, затраты которых больше исходного бюджета – красными (состояние «не будет отобран»). Далее нажимать кнопку «Шаг отбора», пока все проекты не станут зелёными и красными.

После окончания решения параметры отобранных проектов доступны в области 3 «Решение».

Пример расчёта решения.

С помощью данного макета был решён тестовый пример: дан бюджет в 100 у.е. и 13 проектов с параметрами, представленными в таблице 1.

Таблица 1. Параметры проектов тестового примера

Номер проекта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Эффект	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
затраты	14	44	22	1	2	1	3	45	12	26	34	6	67

Взаимосвязи проектов можно видеть на рис. 11.

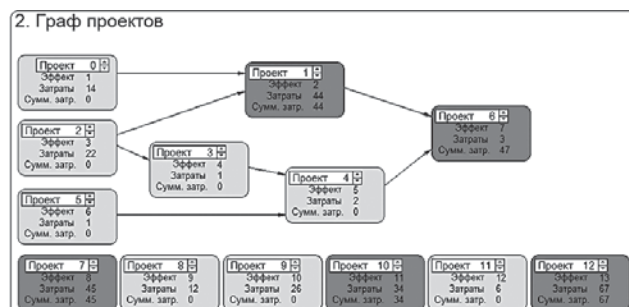


Рис. 11. Граф решения

Решение, выданное макетом – отобрать набор проектов с номерами (0, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 11), при этом эффект такого портфеля – 50, при затратах 84.

Выводы

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.

Описанные выше примеры программного обеспечения могут служить прототипами программных продуктов для комплексной оценки не только инновационных проектов, но и эффективности других сложных социально-экономических систем. Предложенные алгоритмы, программные продукты и методы их использования могут также лечь в основу методических рекомендаций при оценке качества сложных объектов

Литература:

1. Бурков В.Н., Еналеев А.К., Строгонов В.И., Федянин Д.Н. Модели и структура управления разработкой и внедрением инновационных средств и технологий (на примере железнодорожного транспорта) I. Механизмы отбора приоритетных проектов и распределения ресурсов // Управление большими системами. Выпуск 74. М.: ИПУ РАН, 2018. С.81-107.
2. Бурков В.Н., Еналеев А.К., Корепанов В. О., Москалева А.А., Басыров С.К. Информационные технологии формирования программ разработки инновационных энергоэффективных решений/ Труды седьмой научно-технической конференции «Интеллектуальные системы управления на желез-

нодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2018)", 14 ноября, 2018г., Москва, Россия, – М.: АО «НИИАС», Москва, 2018, Том 2, – с. 219-223.

3. Бурков В.Н., Еналеев А.К. Обобщенная задача о ранце/Труды одиннадцатой международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2018)», 1-3 октября 2018г., Москва, Россия, – М.: ИПУ РАН, Москва, 2018, Том 1, – с. 117-123.
4. Burkov V.N., Enaleev A.K. Optimal Resource Allocation in Network Structures / Proceedings of 11th Conference Management of Large-Scale System Development MLSD'2018. Moscow: IEEE, 2018 . URL <https://ieeexplore.ieee.org/document/8551936>.
5. 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.
6. Бурков В.Н., Кондратьев В.В., Цыганов В.В., Черкашин А.М. Теория активных систем. – М.: Наука, 1984. – 272 с.
7. Дорри М.Х., Рощин А.А. Инструментальный программный комплекс РДС (Расчет Динамических Систем) – средство моделирования и разработки алгоритмов управления // Проблемы управления. 2009. №4. С. 52-57.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Бурков Владимир Николаевич**
Москва, ИПУ им. В.А. Трапезникова РАН, главный научный сотрудник, доктор технических наук, профессор vlab17@bk.ru
- **Еналеев Анвер Касимович**
Москва, ИПУ им. В.А. Трапезникова РАН, старший научный сотрудник, кандидат технических наук anverena@mail.ru
- **Корепанов Всеволод Олегович**
Москва, ИПУ им. В.А. Трапезникова РАН, старший научный сотрудник, кандидат технических наук kvsevolodo@mail.ru
- **Федянин Денис Николаевич**
Москва, ИПУ им. В.А. Трапезникова РАН, научный сотрудник dfedyanin@inbox.ru
- **Строгонов Владимир Иванович**
Москва, АО «НИИАС», ученый секретарь, доктор технических наук v.strogonov@vniias.ru

УДК 623.4.083

Цыганов В.В., Басыров С.К., Ковалев С.М.

Механизм обучения энергоэффективности на цифровом железнодорожном транспорте ¹

Цифровая трансформация холдинга ОАО «РЖД» (кратко – Холдинга) основана на широком использовании искусственного интеллекта [1]. Холдинг разработал и принял концепцию создания цифровой железной дороги в духе INDUSTRIE 4.0. В соответствии с принципом адекватности, модернизированная система управления Холдингом должна быть адекватна контролируемому объекту - цифровой железной дороге. Следовательно, система управления Холдингом также должна быть цифровой. А чтобы оставаться конкурентоспособным в условиях изменений, система управления Холдингом должна быть адаптивной. При этом необходимо учитывать человеческий фактор – нежелательную активность отдельных элементов Холдинга, связанную с наличием у них собственных целей [2]. Рассмотрим эту комплексную проблему на примере созданной в Холдинге Системы энергетического менеджмента (СЭнМ).

В условиях роста затрат на энергию, Холдинг создал многоуровневую подсистему управления энергопотреблением, интегрированную в общую систему управления [3]. На корпоративном её уровне функционирует центр нормирования материально-технических ресурсов (ЦУНР). Энергоэффективность на региональном уровне контролируют дорожные топливно-энергетические центры (НТЭЦ).

На основе теории управления большими транспортными системами [4], с 2017г. проводились исследования, ориентированные на формирование научно обоснованных предпосылок синтеза и проектирования организационных структур управления энергоэффективностью на всех уровнях Холдинга. С этой целью анализировались особенности и специфика управления энергоэффективностью. Иерархические и сетевые структуры внедрения энергоэффективных технологий в Холдинге рассматривались в [5]. Соответствующие механизмы внедрения средств и технологий энергоэффективности были предложены в [6]. В результате разработан комплекс механизмов управления разработкой и внедрением энергоэффективных средств и

технологий на железнодорожном транспорте [7]. При этом требуется обеспечить согласованную работу органов управления СЭнМ на разных уровнях в условиях неопределенности, с учетом разной степени подготовки руководителей нижних уровней. Рассмотрим один из путей решения этой проблемы с позиций теории и практики управления эволюцией организации [2].

Многие задачи управления в условиях неопределенности сводятся к классификации руководителем наблюдаемых ситуаций и событий, зависящих от случайных факторов. Обозначим через p случайную величину, характеризующая максимальные возможности (потенциал) производства, $p \in D \subset R^1$, где D – компакт. Руководитель может наблюдать случайные значения этой переменной p . Задача состоит в том, чтобы классифицировать ситуацию p , присвоив ее одной из двух областей, составляющих множество D . Предположим, что руководитель знает, что величина p принадлежит, с условной плотностью распределения $q(p/k)=q_k(p)$ и априорной вероятностью ..., одной из двух неизвестных областей D_1^0 и D_2^0 , $D_1^0 \cup D_2^0 = D$.

Обозначим:

l_{12} – потери в случае, если руководитель ошибочно относит p к области D_2^0 (или классу 2), тогда как на самом деле p принадлежит области D_1^0 ;

l_{21} – потери в случае, если руководитель ошибочно относит p к области D_1^0 (или классу 1), тогда как p принадлежит области D_2^0 .

Используя байесов подход, можно определить разбиение множества D на 2 области D_1 и D_2 , $D_1 \cup D_2 = D$ минимизирующее средние потери классификации:

$$\sum_{k=1}^2 \sum_{m=1}^2 l_{km} \int_{D_m} Q_k q_k(p) dp \xrightarrow{\{D_1, D_2\}} \min. \quad (1)$$

Решить (1) позволяет решающая функция:

$$z(p) = \sum_{k=1}^2 (l_{k1} - l_{k2}) Q_k q_k(p). \quad (2)$$

Тогда уравнение для определения точки p^* , разделяющей области D_1 и D_2 , при условии минимизации средних потерь (1), имеет вид:

$$z(p^*)=0 \quad (3)$$

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и ОАО «РЖД» (проект №17-20-05216)

Оптимальное решающее правило при классификации:

$$P \in \begin{cases} D_1 & \text{если } z(p) < 0 \\ D_2 & \text{если } z(p) \geq 0 \end{cases} \quad (4)$$

Предположим теперь, что вышеуказанные вероятностные характеристики p неизвестны руководителю. Обучение такого неопытного руководителя ведет Учитель, знающий правило (4). Для классификации руководитель использует указание Учителя:

$$S(p_t) = \begin{cases} 0 & \text{если } p_t \in D_1^0 \\ 1 & \text{если } p_t \in D_2^0 \end{cases}, \quad D_1^0 \cup D_2^0 = [0, 1], \quad t = 0, 1, \dots, \quad (5)$$

Заметим, что (5) эквивалентно существованию такого p^* , что $D_1^0 = [0, p^*)$ и $D_2^0 = [p^*, 1]$. Поэтому (5) можно записать в виде

$$S(p_t) = \begin{cases} 0 & \text{если } p_t \geq p^* \\ 1 & \text{если } p_t < p^* \end{cases}, \quad (6)$$

где p^* – параметр решающего правила Учителя. Если бы вероятностные характеристики p были известны руководителю, он мог бы найти p^* , решая (3), и использовать для классификации решающую функцию:

$$x(p, p^*) = p - p^*. \quad (7)$$

Используя (7), уравнение для определения точки p^* , разделяющей области D_1 и D_2 , могло бы быть представлено в виде $x(p, p^*) = 0$, подобном (3). Тогда правило принятия решения руководителя могло бы иметь вид, подобный (4):

$$P \in \begin{cases} D_1 & \text{если } x(p, p^*) < 0 \\ D_2 & \text{если } x(p, p^*) \geq 0 \end{cases} \quad (8)$$

Однако, поскольку руководитель не знает вероятностные характеристики p , он не может определить решающую функцию (7) и правило принятия решения (8). В этом случае, рассмотрим следующую процедуру классификации, ориентированную на поиск решающей функции вида (7) и правила вида (8).

Классификация с указаниями Учителя.

Шаг 1. Руководитель использует приближение решающей функции $x(p)$ в форме, аналогичной (7):

$$x(p, c) = p - c \quad (9)$$

где c – параметр решающего правила, минимизирующий критерий качества аппроксимации решающей функции (2):

$$J_{p^*}(c) = \int_D [z(p) - x(p, c)]^2 dp \quad (10)$$

Шаг 2. На основании (9) руководитель использует аппроксимацию оптимального решающего правила (4) в форме, аналогичной (8):

$$P \in \begin{cases} D_1 & \text{если } x(p, c) < 0 \\ D_2 & \text{если } x(p, c) \geq 0 \end{cases} \quad (11)$$

Стохастическая аппроксимация параметра решающего правила.

Учитывая (1)-(4) и (10), получаем условие минимума $J_{p^*}(c)$ в виде:

$$dJ_{p^*}(c) / dc = c - 0.5 - l_{12} + (l_{12} + l_{21}) E_p \{S(p)\} = 0, \quad (12)$$

где E_p – символ математического ожидания. Для решения (12) можно использовать алгоритм стохастической аппроксимации:

$$c_{t+1} = F(c_t, p_t) = c_t - \gamma_t [c_t - 0.5 - l_{12} + (l_{12} + l_{21}) S(p)],$$

$$\gamma_t > 0, \quad \sum_{t=0}^{\infty} \gamma_t < \infty, \quad c_0 = c^0, \quad t = 0, 1, \dots, \quad (13)$$

где γ_t – оптимальный коэффициент усиления в периоде t [8]. Тогда

$$c_{t+1} = F(c_t, p_t) \xrightarrow{t \rightarrow \infty} c^* = \arg \min J_{p^*}(c), \quad c_0 = c^0. \quad (14)$$

Величина c^* имеет смысл наилучшего приближения параметра p^* решающего правила Учителя.

Обычно руководство заинтересовано в использовании неизвестного ему производственного потенциала p_t . Однако сотрудник, зная истинный потенциал p_t , может выбрать свой выход $y_t, y_t \leq p_t$ так, чтобы обеспечить себе лучшие стимулы сегодня и в будущем. В результате такой нежелательной активности сотрудника, производственный результат не равен потенциалу: $y_t \neq p_t$.

Заметим, что для применения процедуры (13) Учитель должен знать последовательность потенциалов $p_t, t = 0, 1, \dots$. Однако потенциал p_t зависит от внешнего входа ξ_t (например, помехи), который не всегда известен Учителю. Будем поэтому предполагать, что Учитель наблюдает выход y_t^* , но потенциал p_t для них неизвестен. С другой стороны, потенциал p_t становится известен сотруднику в начале периода t , то есть до выбора выхода y_t . Таким образом, зная p_t , сотрудник, как активный элемент (АЭ), может выбрать выход y_t^* так, чтобы обеспечить себе большие стимулы сегодня и в будущем. Поэтому y_t^* может быть не равен потенциалу: $y_t^* \neq p_t$.

Руководитель как Ученик. Предположим, что руководитель должен принимать решения о классификации и стимулировании сотрудника. Этот руководитель следит за выходом y_t^* , но не знает потенциала p_t . Для краткости, будем называть такого неопытного руководителя Учеником. Для его поддержки назначают Учителя, дающего Ученику указания $S(y_t), t = 0, 1, \dots$. После этого Ученик рассчитывает оценку a_{t+1} параметра решающего правила c_{t+1} , используя алгоритм (13):

$$a_{t+1} = F(a_t, y_t^*) = a_t - \gamma_t [a_t - 0.5 - l_{12} + (l_{12} + l_{21}) S(y_t^*)],$$

$$\gamma_t > 0, \quad \sum_{t=0}^{\infty} \gamma_t < \infty, \quad a_0 = c^0, \quad t = 0, 1, \dots, \quad (15)$$

Процедуры классификации и ранжирования. Рассмотрим аппроксимацию решающей функции $x(p)$ в

форме, аналогичной (9), на основе y_t^* и оценки a_t , полученной из (15):

$$x(y_t^*, a_t) = y_t^* - a_t. \tag{16}$$

В решающее правило (11) подставляем, вместо известного $x(p, c) = p - c$ (9), его приближение (16), а вместо неизвестного p_t - наблюдаемый результат y_t^* . После этого решающее правило (11) преобразуется в решающее правило Ученика:

$$y_t^* \in \begin{cases} D_1 & \text{если } x(y_t^*, a_t) < 0 \\ D_2 & \text{если } x(y_t^*, a_t) \geq 0 \end{cases}.$$

Подставляя в это выражение (16), получаем следующее решающее правило Ученика:

$$y_t^* \in \begin{cases} D_1 & \text{если } y_t^* < a_t \\ D_2 & \text{если } y_t^* \geq a_t \end{cases}. \tag{17}$$

Обозначим через C процедуру классификации (17).

На её основе, Ученик определяет ранг y_t^* с помощью процедуры ранжирования R :

$$r_t = R(y_t^*, a_t) = \begin{cases} 2 & \text{если } y_t^* \geq a_t \\ 1 & \text{если } y_t^* < a_t \end{cases}, \tag{18}$$

Процедура ранжирования Ученика. Рассмотрим следующую трехшаговую процедуру, используемую Учеником для присвоения ранга сотруднику (кратко - процедуру ранжирования):

Шаг 1. Ученик получает оценку a_t из (15) и наблюдает y_t^* .

Шаг 2. Ученик использует решающее правило классификации (17).

Шаг 3. На основании результатов классификации (17) Ученик определяет ранг r_t сотрудника согласно (18).

Предположим, что Учитель - эксперт знает истинное значение p_t и сообщает Ученику $S(p_t)$. Тогда (15) совпадает с (13), и согласно (14) получаем:

$$a_{t+1} = F(a_t, y_t^*) \xrightarrow{t \rightarrow \infty} c^*, \quad a_0 = c^0, \quad t = 0, 1, \dots, \tag{19}$$

Рассмотрим теперь случай нежелательной активности сотрудника. При этом Учитель не знает истинного значения p_t и сообщает указания Ученику на основании y_t^* и параметра решающего правила p^* . Поэтому, согласно (6), указание Учителя:

$$S(y_t^*) \in \begin{cases} 1 & \text{если } y_t^* \geq p^* \\ 0 & \text{если } y_t^* < p^* \end{cases}, \quad t = 0, 1, \dots, \tag{20}$$

Вообще говоря, $S(y_t^*) \neq S(p_t)$ вследствие $y_t^* \neq p_t$, $t = 0, 1, \dots$. Тогда оценка a_t (15) не сходится к оптимальной оценке c^* , определяемой согласно (14). Таким образом, возникает проблема идентификации c^* . Отметим, что (15) совпадает с (13) при $y_t^* = p_t$, $t = 1, 2, \dots$. В этом случае выполняется (14), что решает проблему идентификации c^* . Концептуально для такой идентификации достаточно мотивировать персонал раскрывать потенциал в каждом периоде.

Процедура стимулирования и механизм обучения. Рассмотрим следующий порядок функциониро-

вания системы в периоде $t, t=0, 1, \dots$. В начале периода t сотрудник, как АЭ, узнает значение $p_t, p_t \in D, t=0, 1, \dots$. На основании этого он выбирает выход $y_t^*, y_t^* \leq p_t$. Затем, основываясь на наблюдаемой величине y_t^* и известной оценке a_t , Ученик формирует оценку a_{t+1} в следующем периоде с помощью рекуррентной процедуры (15). Затем он же классифицирует y_t^* , используя решающее правило (17). По результатам этой классификации Ученик определяет ранг (18) и стимул АЭ.

Естественно предполагать, что поощрение сотрудника (АЭ) увеличивается с ростом показателя его эффективности y_t^* [3]. При этом, согласно (18), увеличивается и ранг. Поэтому будем рассматривать следующую процедуру стимулирования АЭ:

$$i_t = I(r_t) \in R^1, \quad I(r_t) \uparrow r_t, \quad t = 1, 2, \dots, \tag{21}$$

Совокупность процедур оценки F (15), классификации C (17), ранжирования (R) и стимулирования I (21) будем называть механизмом обучения и обозначать $\Sigma = (F, C, R, I)$.

Выбор АЭ зависит от текущих и будущих стимулов. Приведенная ценность этих стимулов $i_\tau, \tau = t+1, t+\theta$, для АЭ равна:

$$V_t = \sum_{\tau=t}^{t+\theta} \rho^{\tau-t} i_\tau, \tag{22}$$

где ρ - коэффициент дисконтирования, $0 < \rho < 1$, θ - количество периодов, подсчитываемых АЭ (дальновидность). Предположим, что АЭ, как и Ученик знает, что $p_\tau \in D$ и $0 \leq y_\tau \leq p_\tau$ в каждом периоде $\tau, \tau = t+1, t+\theta$. Чтобы принять решение об y_t в условиях неопределенности, АЭ ориентируется на гарантированное значение (22):

$$w_t(y_t) = \min_{p_t \in D, \tau=t+1, t+\theta} \min_{0 \leq y_\tau \leq p_\tau, \tau=t+1, t+\theta} V_t \tag{23}$$

Иными словами, исходя из того, что выход не может превышать потенциал: ($0 \leq y_t \leq p_t$), дальновидный АЭ выбирает y_t так, чтобы максимизировать (23). Тогда множество возможных выборов АЭ имеет вид:

$$W_t(\Sigma, p_t) = \{0 \leq y_t^* \leq p_t \mid w_t(y_t^*) \geq w_t(y_t), 0 \leq y_t \leq p_t\} \tag{24}$$

Предположим, что верна гипотеза доброжелательности АЭ по отношению к Ученику: если $p_t \in W_t(\Sigma, p_t)$, то $y_t^* = p_t, t=0, 1, \dots$. Это означает, что АЭ не скрывает свой потенциал, если это ему не выгодно.

Обратимся к текущей практике оценки, ранжирования и стимулирования в управлении производством. Во-первых, процедуры ранжирования и стимулирования обычно строятся так, чтобы стимулы росли по мере увеличения показателей производства, по сравнению с их оценками (прогнозами, планами). Часто стимулирование осуществляется при условии превышения этих оценок [12]. Следовательно, чем выше оценка, тем сложнее АЭ получить стимул. Во-вторых, процедура прогнозирования в крупной корпорации обычно организована таким образом, что

производственный план в каждом последующем периоде увеличивается на определенный процент от достигнутого сегодня результата (т.н. «планирование от достигнутого»). Тогда будущая оценка будет тем выше, чем выше сегодняшние показатели. Поэтому работник может быть не заинтересован в превышении текущих оценок и раскрытии потенциала [13].

Ученик должен синтезировать механизм обучения $\Sigma = (F, C, R, I)$, при котором АЭ заинтересован в использовании потенциала, то есть в выполнении равенства $y_t^* = p_t$, $t=0, 1, \dots$. Кроме того, при $y_t \neq p_t$ из (13) и (15) следует, что $a_t \neq c_t$. Поэтому, вообще говоря, оценка a_t не сходится к оптимальному параметру c^* . Следовательно, еще одной важной целью Ученика является синтез правильного механизма обучения, обеспечивающего выполнение (19).

Теорема. Для того чтобы АЭ использовал потенциал (то есть для $y_t^* = p_t$, $t=0, 1, \dots$), достаточно процедур прогнозирования F (15), классификации C (17), ранжирования R (18) и стимулирования I (21). Тогда механизм обучения $\Sigma = (F, C, R, I)$ – правильный.

Доказательство теоремы не приводится, в силу его громоздкости.

Механизмы обучения энергоэффективности.

Как указывалось выше, на уровне Холдинга энергоэффективность контролирует ЦУНР, а на региональном – НТЭЦ. Основываясь на разработанном подходе, рассмотрим модель двухуровневой системы обучения энергоэффективности в Холдинге. В этой модели роль АЭ играет местное предприятие региональной железной дороги. Для повышения энергоэффективности на региональном уровне, ЦУНР формирует подсистему управления, включающую опытных Учителей и руководителей региональных НТЭЦ, ответственных за энергоэффективность предприятия. Эти руководители должны принимать решения о классификации и стимулировании персонала предприятия за повышение энергоэффективности.

Предположим, что малоопытный руководитель-Ученик наблюдает показатели предприятия y_t^* , но не знает его потенциала p_t . В помощь ему ЦУНР выделяет опытного специалиста-Учителя, дающего указания $S(y_t)$, $t=0, 1, \dots$. С помощью этих указаний, руководитель оценивает параметр a_{t+1} решающего правила, сформированный с помощью (15), и использует механизм $\Sigma = (F, C, R, I)$ для повышения энергоэффективности предприятия.

Теорема создает основу для практической реализации механизма обучения $\Sigma = (F, C, R, I)$, обеспечивающего стремление персонала предприятия к раскрытию потенциал энергоэффективности p_t . А именно, теорема допускает прозрачную интерпретацию, если y_t – характеристика энергоэффективности предприятия

в период t , а p_t – неизвестная (случайная) максимальная его энергоэффективность. Региональный руководитель получает от Учителя указание $S(y_t)$ и, с помощью (15), настраивает оценку a_t , используя правило принятия решений для классификации (17). Далее, в соответствии с (18) и (21), руководитель производит ранжирование и стимулирование персонала предприятия по результатам энергоэффективности. Если $y_t < a_t$, то персонал предприятия, ответственный за энергосбережение, считается неэффективным (ранг $r_t=1$) и не поощряется (наказывается). Если $y_t \geq a_t$, то персонал считается эффективным (ранг $r_t=2$) и поощряется.

Любое из этих решений связано с определенным риском для регионального руководителя. В первом случае, когда руководитель неправомерно наказывает эффективный персонал, возникают потери l_{21} . Во втором случае потери l_{12} возникают, когда руководитель ошибочно поощряет неэффективный персонал. По сути, оценка a_t – это нижний предел энергоэффективности y_t , соответствующий удовлетворительной работе персонала предприятия в сфере энергосбережения.

Отметим, что, согласно (15) и (20), чем выше энергоэффективность y_t , тем ниже оценка a_t для классификации в будущем периоде τ , $\tau = t+1, t+\theta$. Но, согласно (18), эта оценка a_t играет роль порогового значения эффективности y_t , при котором персонал будет получать стимул (21) в период $\tau = t+1, t+\theta$. Следовательно, персоналу будет легче получить стимул в будущем периоде τ , даже при меньшем значении случайного потенциала p_t .

Другими словами, с повышением энергоэффективности y_t , персонал получает не только текущее поощрение. Одновременно и пороговые значения для получения им стимулов в будущем снижаются. Это дополнительно заинтересовывает персонал в раскрытии потенциала энергоэффективности, т.е. в выборе $y_t^* = p_t$. В этом случае рекуррентная процедура (15) гарантирует, что оценка a_t сходится к оптимальному параметру решающего правила c^* . Таким образом, как НТЭЦ, так и ЦУНР могут рассчитать параметры и стимулы для повышения энергоэффективности.

Этот пример иллюстрирует прозрачность механизма обучения $\Sigma = (F, C, R, I)$, а также практическую применимость теоремы. А именно, при выполнении условий теоремы, стимулы персонала растут с повышением энергоэффективности (например, экономии энергоресурсов).

Доказанная теорема и практический пример показывают, что разработанный механизм обучения $\Sigma = (F, C, R, I)$ может быть эффективным инструментом для поддержки принятия решений в крупной корпорации в условиях неопределенности. Такой механизм мотивирует персонал повышать эффективность до

максимально достижимого уровня. Это создает возможность как для плодотворного обучения, так и для определения руководителем оптимального решающего правила.

Литература:

1. Чаркин Е.И. Цифровая трансформация холдинга ОАО «РЖД». Железнодорожный транспорт. №2. 2019. С.59-63.
2. Цыганов В.В., Бородин В.А., Шишкин Г.Б. Интеллектуальное предприятие: механизмы овладения капиталом и властью. Теория и практика управления эволюцией организации. М.: Университетская книга, 2004. — 768с.
3. Стандарт ОАО «РЖД» «Система управления энерго-эффективностью производственных процессов. Основные положения». 2012.
4. Цыганов В. В., Малыгин И. Г., Еналеев А. К., Савушкин С. А. Большие транспортные системы: теория, методология, разработка и экспертиза. СПб: ИПТ РАН, 2016. — 216с.
5. Цыганов В.В., Адамец Д.Ю. Иерархические и сетевые структуры внедрения энергоэффективных технологий на железнодорожном транспорте. Труды XII межд. конф. «Современные сложные системы управления». Липецк: ЛГТУ, 2017, т.2, с.194-199.
6. Цыганов В.В., Басыров С.К. Структуры и механизмы внедрения средств и технологий энергоэффективности на железнодорожном транспорте / Труды 6-й конф. «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование». М.: АО НИИАС. 2017. с.185-190.
7. Цыганов В.В., Адамец Д.Ю. Комплекс механизмов управления разработкой и внедрением энергоэффективных средств и технологий на железнодорожном транспорте. / Труды 7-й конф. «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование». М.: АО НИИАС. 2018. с.214-219.
8. Цыпкин Я.З. Основы информационной теории идентификации. – М.: Наука, 1984. – 320с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Цыганов Владимир Викторович**
Москва, ИПУ РАН, главный научный сотрудник
доктор технических наук, профессор
v188958@akado.ru
- **Басыров Сергей Камильевич**
Москва, АО «НИИАС»,
начальник отделения
sbasyrov@vniias.ru
- **Ковалев Сергей Михайлович**
Ростов-на-Дону, филиал АО «НИИАС»,
начальник Центра,
доктор технических наук, профессор
ksm@rfniias.ru



УДК 519.6

Адамец Д.Ю., Буркова И.В.

О подходе к решению задач календарного планирования повышения зрелости управления проектами в области энерготехнологий¹

Успешная реализация проектов по разработке и внедрению инновационных средств и технологий в области энергоэффективности на железнодорожном транспорте определяется эффективностью проектного управления.

В настоящее время для повышения эффективности проектного управления получило распространение применение моделей зрелости для оценки текущего состояния систем управления проектами и выработки программ их дальнейшего развития. Проведенные исследования [1] показывают, что существует зависимость между высоким уровнем зрелости проектного управления в организациях и вероятностью успешного завершения проектов.

Повышение уровня зрелости организации в области управления проектами представляет собой сложный, многоплановый и многофакторный процесс, который включается в программу развития организации в целом, характеризующийся необходимостью выявления, мониторинга и анализа системности изменений, сложностью определения точного объема работ и его календарного планирования, координации и мотивации команд задействованных исполнителей и др.

Решение по организации и проведению работ по повышению зрелости системы проектного управления с целью повышения управляемости и эффективности принимается руководством организации, как правило, на основе экспертных заключений привлекаемых сторонних специалистов, которые по своей природе субъективны. Это приводит к тому, что расстановка приоритетов, распределение имеющихся ресурсов организации, формирование плана и графика выполнения мероприятий по повышению организационной зрелости системы проектного управления зачастую выполняется не аналитически, а методом проб и ошибок. В связи с этим возникает необходимость решения задач ресурсного планирования комплекса работ по реализации программ развития (задачи календарного планирования), которые относятся к сложным многоэкстремальным задачам (в общем случае NP -трудным).

В ходе выполнения работ по гранту РФФИ №17-20-05216 «Модели и методы управления разработкой и внедрением инновационных энергоэффективных средств и технологий в ОАО «РЖД»» предложено решение ряда задач календарного планирования повышения зрелости организации в области управления проектами: задачи календарного планирования по критерию максимизации суммарного взвешенного объема выполненных работ; задачи планирования независимых работ, в которой каждая работа выполняется единицей ресурсов; задачи календарного планирования работ команд специалистов и др.

В докладе представлен подход к решению задач календарного планирования на примере решения задачи распределения команд специалистов, совместно выполняющих проектные работы (работы по консультированию, оценке соответствия или несоответствия изделий, товаров или услуг необходимым требованиям и т.д.).

Для решения задачи применена комплексная технология разработки Систем Управления Развитием (технология СУР), созданная в Институте проблем управления РАН [2].

Задача календарного планирования работ команд специалистов реализует элемент методологии программы развития зрелости организации и рассматривается как проект, выполняемый командой управления проектом (далее – просто команда).

С учетом особенностей организаций, задействованных в решении задач в области разработки инновационных методов достижения энергоэффективности на железнодорожном транспорте, каждая команда формируется из специалистов разного типа (методологов, инженеров-программистов, предметных специалистов в области энергоэффективности и т.д.).

Обозначим a_{kj} – количество специалистов j -го типа, включенных в команду k , $x_k(t) = 1$, если команда k в момент времени t выполняет работу k , $x_k(t) = 0$ в противном случае. Число специалистов j -го типа N_j , $j = \overline{1, m}$. Переменные $x_k(t)$ удовлетворяют ограничениям

¹ Работа выполнена при поддержке РФФИ и ОАО «РЖД» (проект №17-20-05216 офи_м_РЖД)

$$\sum_k a_{kj} x_k(t) \leq N_j, \quad t \in [0, T], \quad j = \overline{1, m}, \quad (1)$$

где T – момент завершения всех работ. Для каждой работы должны выполняться условия

$$\int_0^T x_k(\tau) d\tau = \tau_i, \quad i = \overline{1, n}, \quad (2)$$

Задача заключается в определении $x_k(t)$, при которых время выполнения всех работ минимально.

Для получения решения сведем задачу к задаче линейного программирования. В основу такого сведения положим понятие набора команд, под которым понимается множество команд такое, что множество специалистов каждого типа не превышает имеющегося количества. При таком варианте рассмотрения считаем, что любой набор команд может работать одновременно. Если к набору нельзя добавить ни одной команды, не нарушив ограничения на число имеющихся специалистов, то такой набор называется максимальным. Обозначим R – множество всех максимальных наборов, N – число элементов множества R , x_i – продолжительность работы i -го набора. Предполагается, что работы можно прерывать.

Для описания i -го набора введем вектор $u^i = \{u_{ij}\}$, где $u_{ij} = 1$ если в наборе i присутствует команда j , $u_{ij} = 0$ в противном случае. Задача сведена к следующей:

$$\Theta(x) = \sum_i x_i \quad \text{при ограничениях} \quad x_i \geq 0, \\ \sum_i u_{ij} x_i \geq \tau_j, \quad j = \overline{1, n}.$$

Представленная задача является задачей линейного программирования. Для ее решения предложим модификацию симплекс-метода, суть которой заключается в том, что вектор, включаемый в базис, на очередной итерации определяется в результате решения некоторой задачи дискретной оптимизации. Сведение задачи к задаче линейного программирования и предложенный модифицированный симплекс-метод более подробно рассматриваются в статье [4].

Описание алгоритма

Шаг 1. Определяем начальное решение x , т.е. начальный базис, применяя какой-либо эвристический алгоритм.

Шаг 2. Выражаем единичные вектора через вектора y^j базиса, т.е.

$$y^j = \sum_i c_{ij} u^i, \quad \text{и вычисляем} \quad b_i = \sum_j c_{ij}, \quad i = \overline{1, n}.$$

Шаг 3. Решаем задачу

$$C = \sum_i b_i z_i \rightarrow \max, \quad z_i = (0, 1), \quad (3)$$

при ограничениях

$$\sum_i a_{ij} z_i \leq N_j. \quad (4)$$

Возможны два случая.

1. В оптимальном решении $C \leq 1$. В этом случае получено оптимальное решение всей задачи.

2. В оптимальном решении $C > 1$. В этом случае решение можно улучшить, вводя в базис оптимальное решение задачи.

Заметим, однако, что задача (3)–(4) является NP-трудной задачей дискретной оптимизации. Рассмотрим частный случай, когда эта задача решается эффективно. Этот случай характеризуется тем, что имеется тип специалистов такой, что допустимые наборы определяются только числом этих специалистов [3]. Пусть это тип j . Тогда имеем одно ограничение:

$$\sum_i u_{ij} a_j \leq N_j.$$

Получили задачу о ранце, которую можно эффективно решить методами динамического или дихотомического программирования. Рассмотрим пример:

Пусть $m = 3$. Данные о работах приведены в таблице 1.

Таблица 1.

i \ j	1	2	3	τ_i
1	1	0	1	2
2	0	1	1	2
3	1	1	0	2
4	1	1	1	2

В ячейках таблицы указаны значения $\alpha_{kj} = 0$ или 1 (число специалистов j -го типа, включенных в команду i). Максимальные наборы команд указаны в таблице 2.

Таблица 2.

i \ j	1	2	3	4
1	0	0	1	1
2	0	1	0	1
3	1	0	0	1
4	1	1	1	0

В ячейках таблицы указаны значения $u_{ij} = 0$ или 1 ($u_{ij} = 1$, если команда i входит в набор j , $u_{ij} = 0$ в противном случае).

Пусть $N_1 = N_2 = N_3 = 2$. Определяем оценку снизу T :

$$T_1 = \frac{1}{2} \sum_{i \in Q_1} \tau_i = \frac{6}{2} = 3,$$

$$T_2 = \frac{1}{2} \sum_{i \in Q_2} \tau_i = \frac{1}{2} (\tau_2 + \tau_3 + \tau_4) = 3$$

$$T_3 = \frac{1}{2} \sum_{i \in Q_3} \tau_i = \frac{1}{2} (\tau_1 + \tau_2 + \tau_4) = 3$$

$$T = \max(T_1, T_2, T_3) = 3$$

Сформулируем задачу линейного программирования:

$$X = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 \rightarrow \min$$

при ограничениях

$$x_3 + x_4 \geq 2,$$

$$x_2 + x_4 \geq 2,$$

$$x_1 + x_4 \geq 2,$$

$$x_1 + x_2 + x_3 \geq 2.$$

Оптимальное решение

$$x_1 = \frac{2}{3}, \quad x_2 = \frac{2}{3}, \quad x_3 = \frac{2}{3}, \quad x_4 = \frac{4}{3},$$

$$X = 3\frac{1}{3} > T = 3.$$

Чтобы доказать оптимальность этого решения, сформулируем двойственную задачу. Обозначим $w = (w_1, w_2, w_3, w_4) \geq 0$ двойственные переменные.

Двойственная задача:

$$W = 2w_1 + 2w_2 + 2w_3 + 2w_4 \rightarrow \max$$

при ограничениях

$$w_1 + w_4 \leq 1,$$

$$w_2 + w_4 \leq 1,$$

$$w_3 + w_4 \leq 1,$$

$$w_1 + w_2 + w_3 \leq 1.$$

Оптимальное решение

$$w_1 = \frac{1}{3}, \quad w_2 = \frac{1}{3}, \quad w_3 = \frac{1}{3}, \quad w_4 = \frac{2}{3},$$

$$W = 3\frac{1}{3} = X.$$

Следовательно, оба решения являются оптимальными.

Заключение

Предложенный подход к решению задачи обеспечивает разработку плана работы команд, при котором время выполнения всех работ минимально. Более общее описание алгоритмов и частных случаев решения рассмотренной задачи и смежных задач опубликовано в [5].

Литература:

1. Backlund F., Choroner D., Sundqvist E. Project Management Maturity Models – A Critical Review. A case study within Swedish engineering and construction organizations // 27th IPMA World Congress. 2014. No. 119. P. 837–846.
2. В.Н. Бурков, А.В. Щепкин, К.Е. Амелина, З.И. Даулбаева, С.А. Рязанцев Комплексный механизм управления развитием организации // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2019. Т.19, №, С. 79-93.
3. Буркова И.В., Ковалев С.М., Адамец Д.Ю. Модели и методы управления внедрением инновационных разработок в сфере энергосбережения и энергоэффективности железнодорожного транспорта / Труды шестой научно-технической конференции «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2017)» 16 ноября 2017, г. Москва, Изд-во АО «НИИАС», с. 177-180.
4. Бурков В.Н., Адамец Д.Ю., Баркалов С.А., Насонова Т.В. Модели назначения в задачах календарного планирования // Экономика и менеджмент систем управления, 2018, №1 (27) с.54-64.
5. Бурков В.Н., Буркова И.В., Роговая Л.А., Амелина К.Е., Адамец Д.Ю. Задача календарного планирования работ команд специалистов // Экономика и менеджмент систем управления, 2018, №4.3(30) 303, с. 304-312.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Адамец Дмитрий Юрьевич**
Москва, АО «Компания «Интертраст»»,
консультант
dadamets@gmail.com
- **Буркова Ирина Владимировна**
Москва, ИПУ им. В.А. Трапезникова РАН,
ведущий научный сотрудник
доктор технических наук, доцент
irbur27@gmail.com



УДК 004.9

Храмов В.В., Акперов И.Г.

Моделирование объектов железнодорожной инфраструктуры при ее проектировании и строительстве средствами спутникового мониторинга

Введение

В настоящее время спутниковые технологии все более активно применяются при мониторинге больших участков местности, в том числе и в отношении объектов железнодорожной инфраструктуры. При этом технические параметры систем дистанционного зондирования позволяют обеспечивать высокое качество идентификации как самих объектов, так и динамику изменений их состояния [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 по форме и контексту сцены на изображении (снимке) [3]. Зачастую эти задачи требуют реального времени решения, особенно при угрозах аварий и катастроф [3].

Развитие современных технологий, позволяющих реализовывать алгоритмы интеллектуального анализа данных, в том числе алгоритмы обработки как реальных, так и виртуальных изображений, обеспечивает реализуемость и эффективность методов идентификации объектов, явлений и ситуаций, повышать обоснованность принимаемых решений [1,2]. В то же время, «зрительный аппарат животных и человека зачастую оказывается эффективнее, чем современные системы технического зрения (СТЗ) роботов. Методы распознавания, реализованные в этих системах, обычно используют те или иные эвристические процедуры» [1]. Рассмотрим несколько эвристик, разработанных авторами данной работы, связанных с контурной идентификацией проблемно-ориентированных объектов изображений.

Исследование

Как показали многочисленные исследования [1,3] контуры объектов изображений являются областями высокой концентрации информации о реальных сценах. Они слабо зависят от цвета и яркости, устойчивы к смене типов датчиков, почти не зависят от погоды, времени года и суток. При этом большинство других характеристик изображений варьируются в достаточно широком диапазоне [2].

Большую роль в контурной обработке и анализе изображений играют их двухуровневые (бинарные: пиксель принадлежит потенциальному объекту =1, не принадлежит +0) дискретные представления (обозначим массивом M). При этом дискретизация осуществляется по растрам, основные из которых представлены на рисунке 1 в порядке уменьшения частотности применения: прямоугольный (1а), шестиугольный (гексагональный) (1б) и треугольный (1в). Наиболее применимым традиционно считается прямоугольный растр (рис. 1а). Это растры мониторов компьютеров, цифровых телевизоров, различного типа табло, электронных карт местности (ЭКМ) и т.д.

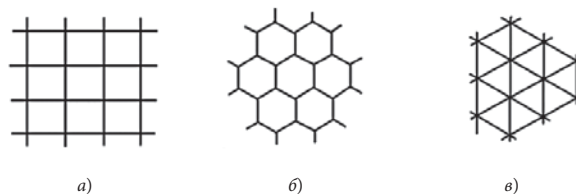


Рис.1. Основные виды используемых растров

В тоже время в целом ряде приложений, связанных со зрением животных и СТЗ роботов, проектированием сложных поверхностей [6], а также при обработке синтезируемых (виртуальных) изображений [7,8], например, при анализе экономического ландшафта, очевидны достоинства гексагональных растров. Треугольные (триангональные) растры нашли применение в моделях, связанных с геоинформационными системами (ГИС) [9,10].

Математика на решетках и признаки распознавания протяженных объектов

Использование успешно зарекомендовавших себя подходов в описаниях объектов, задаваемых решетками, по-прежнему обеспечивает экспресс-анализ растровых изображений, готовит исходную информацию для более тонких исследований. В частности, известная теорема Пика позволяет оперативно определять (или связать между собой) такие важные характеристики объекта на изображении, как площадь, занимаемую им на сцене СТЗ робота, длину контура, количество опорных точек снимка.

Следует отметить, что независимо от формы решетки (соответственно формы пикселя) формула Пика с точностью до размера пикселя (примем для квадратного пикселя – 1, треугольного – $\frac{1}{2}$ и т.д.) для площади многоугольника имеет вид:

$$S = \frac{M}{2} + N - 1, \quad (1)$$

где M – количество узлов на границе фигуры (объекта), N – количество узлов внутри фигуры.

С учетом того, что при растровом описании объекта на изображении, объект всегда является многоугольником, формула (1) дает оценку его площади в пикселях.

Замечание: Если какая-то из сторон многоугольника-объекта совпадают со стороной пикселя, то этот пиксель переходит из группы M в группу N пикселей.

Отметим еще одно важное свойство объектов на бинарных растровых изображениях, основанное на математике решеток – автоматическую сегментируемость [4, 5, 11–15]. Рассмотрим это свойство подробнее.

Обозначим $\{B(i,j)\}$ оцифрованное бинарное изображение объекта, причем яркость пикселя будет равна $A(i,j)=1$, если $B(i,j)$ принадлежит объекту и $A(i,j)=0$ иначе. Порядок такой бинаризации разбирался, например, в [2, 4]. Размер пикселя сетчатки выбирается из условия возможности восстановления качества исходного изображения [2]. После оцифровки предполагается, что каждый пиксель однозначно принадлежит либо изображению, либо фону. При этом ошибка дискретизации зависит не только от размеров пикселя, но и от правила (критерия) отнесения пикселя к фону или изображению. Варианты таких правил приведены в [1, 2].

Граничные пиксели изображения имеют, по меньшей мере, один соседний фоновый пиксель. В случае прямоугольного раstra (рис. 1а), в зависимости от подхода к описанию контуров, принимают во внимание четыре или восемь соседей. Говорят о четырех- или восьмисвязных изображениях. Недостатком таких представлений является то, что в зависимости от расположения объекта относительно раstra длина контура (как сумма пикселей, принадлежащих этому контуру) может меняться на 20–35% [1, 2, 4], что затрудняет достоверное компьютерное распознавание.

Для автоматизации процессов работы с такими изображениями, обнаружения и описания контуров необходимо осуществлять их кодирование. Воспользуемся кодом Фримена [1, 2], для которого будем использовать понятие элементарного вектора (ЭВ), соединяющего центры соседних контурных пикселей сетчатки, обозначив его $\gamma(i)$.

Для прямоугольного раstra характерными являются такие векторы для четырех и восьмисвязных изображений. В частности, для связности 8 их можно

пронумеровать от нулевого до седьмого по часовой стрелке (этот номер и будет значением i -го ЭВ). Для связности 4 такие ЭВ нумеруют от 0 до 3. Общее количество элементарных векторов N характеризует длину контура.

Следует отметить, что для связности 8 имеют место два типа ЭВ, один длиной 1 для ортогональных переходов от одной точки контура к другой (два вертикальных и два горизонтальных), другой – длиной $\sqrt{2}$ для диагональных переходов. Это не только делает невозможной целочисленную обработку контурной информации, но и вносит существенную погрешность в при вычислении признаков идентификации объектов на изображениях [4].

Наличие более одной стандартной длины создает проблемы при формировании вторичных признаков для контурного распознавания. Однако существуют области применения, в которых кодирование по Фримену на прямоугольной сетчатке оказывается достаточно эффективным. Это относится к СТЗ, работающим со стандартными стационарными объектами (контроль качества микросхем, дефектоскопия в промышленности и на транспорте, распознавание объектов при автоматизированном коммерческом осмотре на железных дорогах [4, 15, 16] и т.п.)

Как показали исследования, проведенные авторами данной работы [1, 4–16], «если изображение представлено бинарной решеткой размерами $n \times m$, и известны любые две соседние точки контура (i , соответствующее им значение кода Фримена $\gamma(i)$) на гладком контрастном (то есть предварительно прошедшем анизотропную фильтрацию) изображении, то для выделения очередного ЭВ, задаваемого связностью 8, необходимо знать количество k пикселей, соседних с данной ячейкой S и принадлежащих изображению. В этом случае для получения очередного $\gamma(i+1)$ значения кода необходимо вычислить значение выражения (2):

$$\gamma(i+1) = \text{mod } 8 (\gamma(i) + k + \alpha), \quad (2)$$

где $\alpha=3$ – восьмеричная константа, а суммирование осуществляется по модулю 8. Подробнее этот способ изложен ранее» [1].

Как было показано выше, при кодировании на прямоугольном растре имеется два вида стандартных ЭВ длиной 1 и $\sqrt{2}$, что затрудняет вычисление вторичных признаков распознавания [4, 17–19], учитывающих длину (1) и форму контура, перспективной представляется реализация гексагонального раstra, для которого имеется только одна стандартная длина ЭВ [1, 4]. Следует отметить, что ряд авторов [3, 7, 12, 13] подчеркивают, что размытость линий на изображениях, представленных гексагональными растрами (i , соответственно, их фрактальная размерность) меньше, чем для прямоугольных растров. А это важно для пред-

ставления и характеристик железнодорожных путей. В этом случае ЭВ имеет шесть возможных направлений (рис. 2) и выражение (2) преобразовывается в (3):

$$\gamma(i+1) = \text{mod } 6 (\gamma(i) + k + \alpha), \quad (3)$$

где $\alpha=2$ – шестеричная константа, а суммирование осуществляется по модулю шесть.

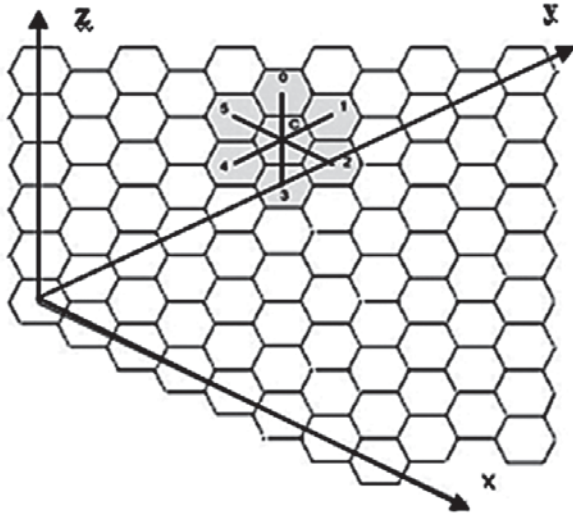


Рис.2. Особенности гексагонального растра

Таблица 1. Индексы по координатам

Код Фримена	1-й реверсивный счетчик(x)		2-й реверсивный счетчик(y)		3-й реверсивный счетчик(z)	
	+	-	+	-	+	-
0	0	0	1	0	1	0
1	1	0	0	1	0	0
2	1	0	0	0	1	0
3	0	0	0	1	0	1
4	0	1	1	0	0	0
5	0	1	0	0	0	1

Обработка изображений на гексагональных решетках Преобразование изображения

Преобразование изображений на любых решетках является основой многих методов их обработки и анализа. Не исключением являю тся и методы обработки гексагональных решеток. С учетом того, что на реальных изображениях присутствует шум, применяются различные методы их фильтрации. При этом, например, операция свертки становится более вычислительно эффективной при переходе в частотную область за счет различных Фурье преобразований [15, 17, 18], которые преобразует изображения из пространственной области в область спектра. Стандартные алгоритмы быстрого преобразования Фурье (БПФ), однако, не применимы к данным, не связанным с прямоугольниками.

Ряд авторов разрабатывал и исследовал варианты двумерного БПФ, т.н. 2-D FFT [19–21] пригодными для использования с гексагональными данными. Так Нель [20] получал двумерное преобразование Уолша. Все они были получены в неортогональных осях. Позже появились [21] доказательства, что для алгоритма 2-D FFT требуется дополнительный шаг интерполяции. Был представлен сепарабельный быстрый дискретный алгоритм преобразования Фурье, где пространство данных адаптировано к гексагональным сеткам, а пространство преобразования отбирается с помощью прямоугольных сеток. В [21], описано БПФ для гексагональной решетки на основе подхода Кули-Туки.

Обнаружение контура на гексагональной структуре

Когда сцена наблюдается человеком, человеческая визуальная система сначала сегментирует сцену. Обнаружение контура, отделяющего различные объекты на сцене – важный подход и для сегментации изображений в СТЗ.

Основное предположение, используемое в большинстве алгоритмов выделения контура, состоит в том, что ребра характеризуются большими изменениями интенсивности (или цветом). Следовательно, при расположении ребра первая производная функции интенсивности должна быть максимальной.

Результаты обнаружения контура на шестиугольных изображениях показывают, что получаемая карта контура имеет лучшую точность для искривленных объектов, чем с прямоугольными изображениями. Это объясняется главным образом связностью отдельных шестиугольных пикселей, генерирующих более согласованные контуры [4,15].

Параметрическое описание контуров

С учетом того, что для описания изображений на гексагональных растрах может быть использовано три оси x, y, z , в [19,21] было показано, что для каждого пикселя имеет место равенство $x+y=z$. И, хотя для однозначного определения пикселя на координатной сетке достаточно любой пары этих координат: (x, y) ; (x, z) ; (y, z) [11–15,21], использование всех трех осей позволяет повысить достоверность результатов идентификации [5] объектов на изображениях.

Для пояснения дальнейших рассуждений, отметим, что для каждого i -го пикселя контура объекта изображения на гексагональной решетке можно указать (x_i, y_i, z_i) , тем самым обеспечить параметрическое описание этого контура:

$$\begin{cases} x = x(s) \\ y = y(s) \\ z = z(s), \end{cases} \quad (4)$$

где $s = h \cdot i$; а $h = \text{const}$ для гексагональной решетки. При этом, если изображение расположено в положительной области (все координаты контура положительны), то имеет место равенство $x + y = z$.

Заключение

В работе были исследованы вопросы визуального представления объектов и процессов с помощью гексагональных решеток. Результаты этих исследований позволяют осуществлять анализ данных, представляемых посредством визуального кодирования, интеллектуальной обработки и использования для систем поддержки принятия решений в промышленности, экономике, образовании.

Литература:

1. Майоров В.Д., Храмов В.В. Эвристические способы контурного кодирования моделей информационных объектов в системе технического зрения робота // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2014. № 1 (53). С. 62-69. <https://elibrary.ru/item.asp?id=21391925>
2. Лупян, Е.А. Технология построения автоматизированных информационных систем сбора, обработки, хранения, и распространения спутниковых данных для решения научных и прикладных задач / Е.А. Лупян, А.А. Мазуров, Р.Р. Назиров, А.А. Прошин, Е.В. Флитман // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2004. С.81-89.
3. Хорн, Б.К.П. Зрение роботов // М.: Мир, 1989.- 487 с. <http://log-in.ru/books/khorn-b-k-p-zrenie-robotov-khorn-b-k-p-programming>
4. Фурман, Я.А. Введение в контурный анализ: приложение к обработке изображений и сигналов / Я.А. Фурман и др. // М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003.- 592с. <https://smart-torrent.org/viewtopic.php?t=90108>
5. Гвоздев Д.С., Храмов В.В., Ковалев С.М., Голубенко Е.В. Прикладные методы идентификации в автоматизированных системах на транспорте: Монография // Ростовский государственный университет путей сообщения. Ростов-на-Дону, 2015.- 186 с. <https://elibrary.ru/item.asp?id=27492569>
6. Способ идентификации протяженных объектов земной поверхности / Акперов И.Г., Крамаров С.О., Храмов В.В., Митясова О.Ю., Повх В.И. // Патент на изобретение RUS 2640331 11.12.2015 <https://elibrary.ru/item.asp?id=35057862>
7. Гинзбург М.М., Пуятин Е.П. Сравнительный анализ прямоугольной и гексагональной решеток для дискретизации кривых // Бионика интеллекта: науч.-техн. журнал. – 2012. – № 2 (79). – С. 13–18.
8. Устройство для отслеживания контуров двумерных объектов / Храмов В.В., Гончаров В.В. // Патент на изобретение RUS 2050594 <https://elibrary.ru/item.asp?id=17634287>
9. Устройство для отслеживания контуров двумерных объектов / Патент РФ 2104580 Российская Федерация. МПК G06 F15/66.В.В. Храмов, А.А. Баранник, А.В. Палиенко [и др.] <http://www.freepatent.ru/patents/2104580>
10. Гвоздев Д.С., Линденбаум М.Д., Храмов В.В., Ковалев С.М. Анализ результатов работы и оценка эффективности гибридной модели идентификации подвижных единиц железнодорожного транспорта // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2013. № 4 (52). С. 47-54. <https://elibrary.ru/item.asp?id=21004285>
11. Гвоздев Д.С., Храмов В.В. Алгоритм кодирования контура объекта по Фримену // Ученые записки Института управления, бизнеса и права. Серия: Информационные технологии и управление. 2012. № 1. С. 82-87. <https://elibrary.ru/item.asp?id=34981315>
12. Mersereau, R.M., A Two-dimensional FFT for Hexagonally Sampled Data (in Digital Signal Processing – ed. V. Cappellini and A.G. Constantinides) Academic Press. 1980: p. 93 – 101.
13. Nel, A.L., Hexagonal image processing. Communications and Signal Processing, 1989. COMSIG 1989. Proceedings., Southern African Conference on, 1989: p. 109-113.
14. Ehrhardt, J.C., Hexagonal fast Fourier transform with rectangular output. Signal Processing, IEEE Transactions on [see also Acoustics, Speech, and Signal Processing, IEEE Transactions on], 1993. 41(3): p. 1469-1472.
15. Middleton, L. and J. Sivaswamy, The FFT in a Hexagonal image Processing Framework. Proceedings of Image and Vision Computing New Zealand, 2001: p. 231-236.
16. Wu, H.-S., Hexagonal discrete cosine transform for image coding. Electronics Letters, 1991. 27(9): p. 781-783.
17. Храмов В.В. О способах контурного кодирования моделей информационных объектов // Ученые записки Института управления, бизнеса и права. Серия: Информационные технологии и управление. 2012. № 1. С. 76-81. <https://elibrary.ru/item.asp?id=34981316>
18. Храмов В.В., Гвоздев Д.С. Интеллектуальные информационные системы: Интеллектуальный Анализ Данных // Ростовский государственный университет путей сообщения. Ростов-на-Дону, 2016.- 152 с. <https://elibrary.ru/item.asp?id=28322733>
19. Храмов В.В., Ковтун О.Г., Митясова О.Ю. Критерии и оценки информативности контурных данных об объектах железнодорожной инфраструктуры

в процессе спутникового мониторинга // В сборнике: Перспективные телекоммуникационные и информационные системы и технологии Труды Международной научно-практической конференции. 2015. С. 180-184. <https://elibrary.ru/item.asp?id=32672944>

20. Храмов В.В. Методология представления территорий при целевом зондировании Земли из космоса // Интеллектуальные ресурсы – региональному развитию. 2016. № 2. С. 142-149. <https://elibrary.ru/item.asp?id=26133898>
21. Храмов В.В. Многомерный контурный анализ в обработке космических снимков протяженных объектов земной поверхности // В сборнике: Транспорт: наука, образование, производство труды междуна-

родной научно-практической конференции. 2016. С. 244-248. <https://elibrary.ru/item.asp?id=28985821>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Храмов Владимир Викторович**
Ростов-на-Дону, Южный университет (ИУБИП),
ведущий научный сотрудник,
кандидат технических наук, доцент
vxramov@inbox.ru
- **Акперов Имран Гурруевич**
Ростов-на-Дону, Южный университет (ИУБИП),
ректор, доктор экономических наук
кандидат технических наук, профессор
rector@iubip.ru



Дагдьян Г.Д., Швалов Д.В.

Анализ возможности использования системы технического зрения для определения скоростей скатывания отцепов на сортировочной горке

В настоящее время на сортировочных горках в качестве датчиков скорости движения отцепов используются радиолокационные индикаторы скорости (РИС). Принцип действия РИС основан на использовании эффекта Доплера, сущность которого заключается в том, что сигнал (электромагнитные колебания), отраженный от движущегося объекта, изменяет свою частоту на значение, пропорциональное скорости движения. Измерение скорости отцепов производится на входе в тормозные позиции (ТП) для передачи данных в подсистемы автоматического регулирования скорости скатывания и управления прицельным торможением (АРС-УУПТ). Для обеспечения надежности функционирования АРС-УУПТ устанавливаются по два датчика скорости на ТП. Выход из строя обоих датчиков скорости приведет к отключению АРС-УУПТ и переводу горочного комплекса в режим ручного управления торможением. Поэтому, по мнению авторов, представляет интерес исследование возможности организации дублирующего канала измерения скорости скатывания отцепов, а также возможности измерения скорости в других точках по маршруту скатывания, например, на выходе из ТП и в процессе движения по пути подгорочного парка, включая момент соударения со стоящими на пути вагонами.

Авторы предлагают изучить возможность использования системы технического зрения в качестве дублирующего канала формирования информации о скоростях движения отцепов. Источниками первичной информации в СТЗ являются видеокамеры, которые могут быть размещены на осветительных мачтах. Схема размещения камер видеонаблюдения зависит от мест расположения осветительных мачт и от выбранных точек, в которых требуется измерять скорость. Так, на рис. 1 показана возможная схема расположения камер на осветительных мачтах для пучка подгорочного парка, состоящего из 16 путей. При использовании видеосигналов от нескольких камер можно использовать известные методы панорамирования изображений [1, 2].

Анализ методов и алгоритмов определения скорости движения транспортных средств при использова-

нии СТЗ [3-7] показывает, что для вычисления скорости используются различные методы. Выбор метода зависит от конкретной ситуации при видеосъемке. Но в общем случае для вычисления скорости движения объекта используется расстояние, на которое объект перемещается за известное время.

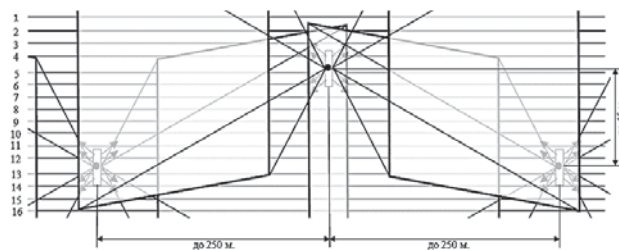


Рис. 1. Схема размещения осветительных мачт и камер видеонаблюдения

Отрезок времени может быть вычислен по частоте кадров видеозаписи, а расстояние, на которое переместился объект за измеренный отрезок времени: 1) по количеству пикселей между объектом на разных кадрах с учетом угла камеры и масштабного коэффициента; 2) расстояние фиксировано и заранее известно. Здесь представляет интерес выбор способа поиска движущегося объекта и выбор способа определения расстояния для решения данной конкретной задачи. Как показал анализ, чаще всего для обнаружения объектов в видеопотоке используются различные модификации алгоритмов межкадровой разности (вычитания фона) и алгоритмов на основе особых точек. К примеру, в работе [7] для определения скорости движения вагона при роспуске на сортировочной горке предлагается проанализировать межкадровое смещение вагона за известный период следования кадров.

С целью сравнения свойств различных алгоритмов было проведено моделирование в программной среде Unity3D. В процессе моделирования отцеп (один крытый вагон длиной 14730 мм) скатывается с горки на участке от третьей тормозной позиции (ЗТП) до точки остановки (рис.2, а). Предлагается измерять скорость отцепа с периодичностью один раз в секунду сразу после прохождения им ЗТП (рис.2, б).

Информация (таймер, начальная скорость и скорость), представленная на рис.2, является параметрами моделирования.

Для обнаружения движущегося отцепа предлагается сравнить алгоритмы вычитания фона. Рассматривались такие алгоритмы как MOG (адаптивная модель смеси гауссиан) [8], KNN (алгоритм k -ближайших соседей) [9], MOG2 (улучшенная адаптивная модель смеси гауссиан) [10]. Результаты эксперимента представлены на рис.3 и в табл.1.

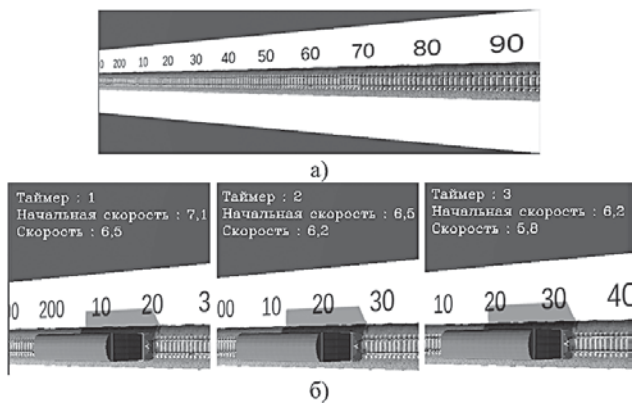


Рис. 2. Результаты моделирования: а) фоновое изображение; б) положение и скорость отцепа на первой, второй и третьей секундах после выхода из ЗТП

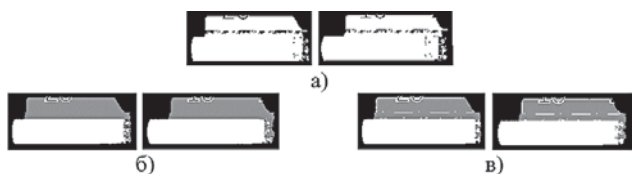


Рис. 3. Результаты эксперимента: а) MOG; б) KNN; в) MOG2

Таблица 1. Результаты эксперимента

Итерации \ Алгоритмы	10	100	1000
MOG	129.9093 мс	1317.072 мс	13280.96 мс
MOG2	110.9248 мс	1092.267 мс	10524.69 мс
KNN	457.6731 мс	4479.843 мс	46440.66 мс

Как видно на рис.3, все алгоритмы выделили скатывающийся отцеп и тень от него, однако алгоритмы KNN и MOG2 также разметили выделенную тень.

В результате численного эксперимента (табл.1) алгоритм MOG2 показал лучший результат в быстродействии. В связи с этим для дальнейшего распознавания скорости был выбран алгоритм обнаружения движущихся объектов MOG2.

По условиям эксперимента отцеп скатывается в мировой координатной системе, ориентированной так, что ось X расположена вдоль железнодорожного пути, ось Y ей ортогональна, а координата Z отобража-

ет высоту. Тогда скорость скатывания отцепа из точки $A(X_A, Y_A, Z_A)$ в точку $B(X_B, Y_B, Z_B)$ может быть рассчитана как евклидово расстояние между этими точками, деленное на Δt , по формуле

$$v = \frac{\sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2 + (Z_B - Z_A)^2}}{\Delta t}$$

Так как от ЗТП до точки остановки отцеп скатывается по горизонтальной поверхности и только по соответствующему пути, то значениями координат осей Y и Z можно пренебречь. В таком случае скорость определяется по формуле

$$v = \frac{X_B - X_A}{\Delta t}$$

Для определения X_A и X_B рассмотрим схему расположения камеры (рис.4), где H – высота на которой расположена камера, $H=28$ м; α – угол наклона камеры относительно оси абсцисс, $\alpha=105^\circ$; β – угол обзора камеры, $\beta=112^\circ$; C – точка центра обзора камеры; S_1 и S_2 – области обзора слева и справа от центра соответственно.

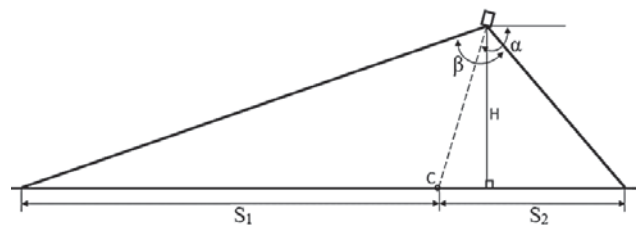


Рис. 4. Схема расположения камеры

Вычислим значения S_1 и S_2 по приведенным ниже формулам:

$$S_1 = H \cdot \tan\left(\frac{\beta}{2} + \alpha - 90\right) - H \cdot \tan(\alpha - 90) = 81.3 - 7.5 = 73.8 \text{ м,}$$

$$S_2 = H \cdot \tan\left(\frac{\beta}{2} - (\alpha - 90)\right) + H \cdot \tan(\alpha - 90) = 24.3 + 7.5 = 31.8 \text{ м,}$$

$$S = S_1 + S_2 = 105,6 \text{ м.}$$

Тогда пройденный отцепом путь можно вычислить по формуле

$$X = \frac{S \cdot k}{\frac{w}{x} - 1 + k},$$

где X – искомое расстояние, м;

S – область видимости в горизонтальной плоскости, м;

w – область видимости в горизонтальной плоскости, пиксели (px);

x – координата объекта на изображении, px (рис. 5);

k – коэффициент отражающий наклон камеры,

$$k = \frac{w - m}{m},$$

где m – координаты середины области видимости в горизонтальной плоскости, px;

$$m = \frac{w \cdot S_2}{S}.$$

Таблица 2. Результаты вычисления скорости

Моменты времени	Скорость моделирования, м/с	x_1 , px	x_2 , px	Δt	Вычисленная скорость (v), м/с	Δv , м/с	Скорость, с учетом высоты от уровня головок рельсов до оси автосцепки (v_k), м/с	Δv_k , м/с
1	6,5	—	172	1	—	—	—	—
2	6,2	172	216	1	6,5	0,3	6,3	0,1
3	5,8	216	260	1	6,0	0,2	5,8	0
4	5,5	260	307	1	5,9	0,4	5,7	0,2
5	5,2	307	355	1	5,5	0,3	5,3	0,1
6	5,0	355	405	1	5,3	0,3	5,1	0,1
7	4,7	405	456	1	5,0	0,3	4,8	0,1

На рис.5 представлен результат выделения контура отцепа в разные промежутки времени. Координата объекта на изображении (x) обозначена как расстояние от начала изображения до правой границы отцепа.

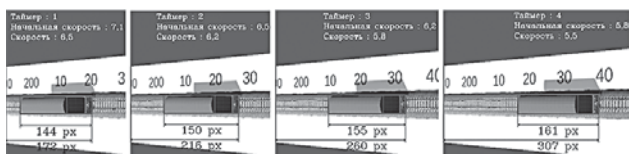


Рис. 5. Выделение контура отцепа

Результаты распознавания представлены в табл.2. Результаты исследования показали погрешность измерения $\pm 0,4$ м/с. Для скоростей $v \geq 4$ м/с данная погрешность входит в допустимый интервал 10% [11]. Для скоростей $v < 4$ м/с погрешность составляет более 10%, и алгоритм распознавания необходимо доработать. Одним из возможных направлений является учет высоты от уровня головок рельсов до оси автосцепки (табл.2). В результате погрешность составит $\pm 0,2$ м/с.

Полученные результаты исследований показали возможность применения СТЗ для определения скорости скатывания отцепов на сортировочной горке. Однако для определения скорости отцепа в пределах заданной погрешности вплоть до точки остановки необходимо увеличить точность определения малых скоростей ($v < 2$ м/с).

Применение СТЗ для вычисления скоростей движения отцепов позволит:

- организовать дублирующий канал формирования информации, что повышает надежности функционирования подсистемы АРС-УУПТ в целом;
- увеличить объем информации о параметрах выпуска за счет непосредственного, а не косвенного определения скорости движения отцепов по маршруту скатывания;
- выявлять отклонения реальной скорости соударения отцепов на путях подгорочного парка от расчетной;

- определить влияние погодных условий на скатывание отцепа в режиме реального времени;
- построить и проанализировать реальный график изменения скорости и ускорения на всем пути следования отцепов.

Литература:

1. Макарецкий, Е. Полусферические камеры прикладных телевизионных систем: получение и преобразование полусферических изображений / Е. Макарецкий, А. Овчинников, Фан Чан Данг Хоа // Компоненты и технологии. – 2010. – № 9, – С. 30–32.
2. Макарецкий, Е. Выделение и сопровождение движущихся объектов на полусферических изображениях / Е. Макарецкий, А. Овчинников, Фан Чан Данг Хоа // Компоненты и технологии. – 2011. – № 1. – С. 31–36.
3. Тимофеев, Б.С. Измерение скоростей автомобилей путем анализа видеопоследовательности / Б.С. Тимофеев, А.А. Мотыко // Обработка информации и управление. – 2012. – № 1. – С. 2–7.
4. Стальмахов, А.В. Способы определения скорости и местоположения объектов по видеозаписи / А.В. Стальмахов, Р.Ю. Трубицын. – Саратов: Изд. дом «Сору-time», 2013. – 76 с.
5. Пронин, В.Н. Расчёт скоростей движения объектов по видеозаписям, полученным средствами видеオフィксации / В.Н. Пронин, М.В. Звездин, С.Б. Шавыкина // Теория и практика судебной экспертизы. – 2013. – № 3 (31). – С. 84–88.
6. Коноваленко, И.А. Автоматическое определение мгновенной скорости автомобиля по видеопотоку в условиях неконтролируемого освещения / И.А. Коноваленко, Е.Г. Кузнецова // Информационные технологии и системы. – 2014. – С. 375–384.
7. Васин, Н.Н. Обработка видеосигналов для измерения скорости движения железнодорожных вагонов на сортировочной горке / Н.Н. Васин, В.Ю. Куринский // Компьютерная оптика. – 2005. – № 27. – С. 185–188.

8. Stauffer, C. Adaptive Background Mixture Models for RealTime Tracking / C. Stauffer, WEL. Grimson. // IEEE Computer Society Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition CVPR. – 1999. – С. 246–252.
9. K-nearest neighbors algorithm. [Электронный ресурс]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/K-nearest_neighbors_algorithm (дата обращения 31.07.2019).
10. Zivkovic, Z. Improved adaptive gaussian mixture model for background subtraction / Z. Zivkovic // In Pattern Recognition, ICPR 2004, IEEE Proceedings of the 17th International Conference. – 2004. – С. 28–31.
11. Шелухин, В.И. Автоматизация и механизация сортировочных горков. – М.: Маршрут. – 2005. – 240 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Дагддиян Григорий Дзарукович**
Ростов-на-Дону, Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС), программист отдела «Разработки и сопровождения программного обеспечения»
dgd_ui@rgups.ru
- **Швалов Дмитрий Викторович**
Ростов-на-Дону, Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС), доцент кафедры «Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте», кандидат технических наук
atrwt@rgups.ru



УДК 004.93

Абраменко А.А.

Калибровка видеокamer и лазерного дальномера при совместном применении для мониторинга железнодорожной инфраструктуры¹

Введение

Своевременный мониторинг железнодорожной инфраструктуры является важной задачей, так как обеспечивает безопасность железнодорожных перевозок. Учитывая большую протяженность железных дорог в России, актуальной задачей является увеличение скорости мониторинга и автоматизация данного процесса. В настоящее время существуют относительно недорогие датчики технического зрения, а именно многолучевые лазерные дальномеры (лидары) и камеры. Лазерные дальномеры предоставляют информацию о трёхмерной структуре сцены и при достаточно высокой скорости движения имеют точность в несколько сантиметров. Лидар позволяет получать облако точек, которое представляет собой множество трёхмерных точек в системе координат этого лидара. Камера позволяет получать изображения, содержащие такие сведения как цветовая гамма и текстура. Данные сенсоры могут быть использованы для построения

цифровой модели местности и, следовательно, автоматического мониторинга.

Большие возможности открываются при одновременном использовании изображений и трёхмерных облаков точек лазерного сканирования. Эти данные различной природы дополняют друг друга, предоставляя информацию, как о цвете, так и о трёхмерной форме наблюдаемых объектов. При этом возникает задача определения взаимного расположения (калибровки) этих датчиков. Под калибровкой в данном случае понимается определение смещения одного датчика относительно другого, а также определение их взаимной ориентации. Калибровка взаимного расположения необходима для совмещения информации, полученной с помощью различных сенсоров, в общую модель. Взаимное расположение датчиков в некоторых случаях может быть измерено вручную, однако, полученные таким образом измерения, как правило, не обладают необходимой точностью. Таким образом, калибров-

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-20-02017\17

ка взаимного расположения сенсоров, в частности, лидара и видеокамер, является важной и актуальной задачей, решение которой открывает большие возможности по использованию изображений и лазерных данных вместе для решения задач мониторинга железнодорожной инфраструктуры.

В данной работе описан метод, позволяющий решать задачу определения взаимного положения многолучевого лидара и двух видеокамер. Предлагаемый метод позволяет улучшить точность калибровки за счёт использования информации сразу двух камер. Преимущество метода также заключается в том, что он подходит для калибровки лазерных дальномеров как с низкой, так и с высокой плотностью точек.

1. Описание метода калибровки

Калибровка обычно осуществляется путём установления геометрических соответствий между некоторыми особенностями в данных, полученных с помощью различных сенсоров. Для нахождения взаимного расположения камер и лидара необходимо получить два набора трёхмерных координат угловых точек калибровочных щитов: один набор должен быть получен с помощью изображений, другой по данным лидара. После получения таких наборов может быть решена задача нахождения матрицы преобразования между системами координат датчиков.

Под матрицей преобразования T будем понимать матрицу, составленную из матрицы поворота R и вектора смещения $\mathbf{t} \in \mathbb{R}^3$:

$$T = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R & \mathbf{t} \\ \mathbf{0} & 1 \end{pmatrix},$$

где $R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{pmatrix}$, $\mathbf{t} = (t_x, t_y, t_z)^T$.

Далее индексами B, L, C_1 и C_2 будем обозначать калибровочный щит, лидар и камеры соответственно. Все системы координат (см. рис. 1), рассматриваемые в работе, являются прямоугольными декартовыми системами координат.

1.1 Калибровочный щит

Для калибровки будем использовать калибровочный щит, который представляет собой плоский прямоугольник равномерной цветовой текстуры с закрепленными на нём ArUco-маркерами. ArUco-маркер [1] – это специально закодированный образ, который позволяет по изображению и известным внутренним параметрам камеры (фокусное расстояние,

принципиальная точка и др.) вычислить относительное расположение маркера и камеры. Щит следует располагать так, чтобы его границы составляли с линиями лазерного сканирования угол близкий к 45°. Чем меньше плотность сканирования лидара и больше расстояние между щитом и лидаром, тем большего размера щит необходимо использовать.

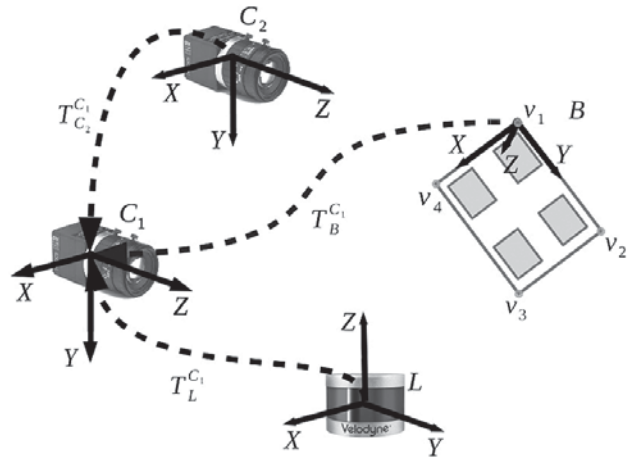


Рис. 1. Схема систем координат сенсоров.

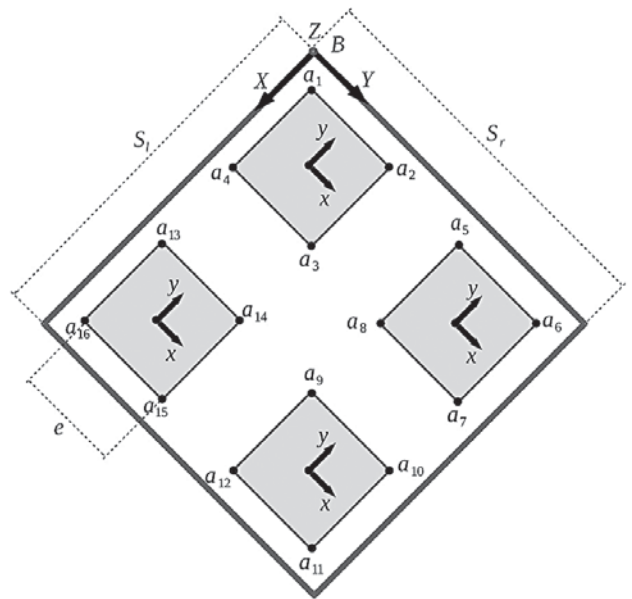


Рис. 2. Схема калибровочного щита.

Будем полагать, что все ArUco-маркеры имеют форму квадрата, длина стороны которого равна e (см. рис. 2). Размеры сторон калибровочного щита положим равными S_1 и S_2 . Пусть начало системы координат B совпадает с верхним углом калибровочного щита, а оси абсцисс и ординат коллинеарны границам калибровочного щита. Каждый из маркеров однозначно задаёт некоторую систему координат (x, y) . Будем полагать, что ArUco-маркеры закреплены так, что ориентация их систем координат относительно системы координат B совпадает и их положение известно.

1.2 Поиск угловых точек щита по изображениям

Калибровочный щит устанавливается перед жёстко закрепленными камерами C_1, C_2 и лидаром L (см. рис. 1). Существует множество методов, позволяющих получить параметры внутренней и внешней калибровки двух камер. Будем полагать, что для камер C_1, C_2 параметры калибровки вычислены с помощью [2].

Точные координаты угловых точек a_m ArUco-маркеров (см. рис. 2) в системе координат B легко могут быть измерены рулеткой, поэтому будем считать их известными: ${}^B \mathbf{a}_m = (a_x, a_y, a_z)^T, m = 1, \dots, M$. В случае использования четырёх маркеров на щите $M=16$.

С помощью алгоритма обнаружения ArUco-маркеров на изображениях могут быть найдены координаты проекций точек a_m [1]. Данные проекции уточняются с помощью описанного в [5] подхода. По уточнённым проекциям точек a_m на изображение камеры C_1 и известным координатам ${}^B \mathbf{a}_m$, с помощью PnP алгоритма [3] легко может быть вычислена матрица преобразования $T_B^{C_1}$ (см. рис. 1) из системы координат B щита в систему координат C_1 камеры. Аналогичным образом для камеры C_2 может быть вычислена матрица преобразования $T_B^{C_2}$.

Так как известны параметры внешней калибровки камер, то известна матрица преобразования $T_{C_2}^{C_1}$ из системы координат C_2 в систему координат C_1 . Очевидно, что $T_B^{C_1} = T_{C_2}^{C_1} T_B^{C_2}$. Однако на практике последнее равенство не всегда будет выполняться. Причиной несовпадения преобразований могут быть различные ошибки, возникающие, например, в процессе обнаружения маркеров или на этапе взаимной калибровки камер.

Уточнённой матрицей преобразования из системы координат B в систему координат C_1 будем называть матрицу $\bar{T}_B^{C_1} = \arg \min_{T_B^{C_1}} \|T_B^{C_1} {}^B \mathbf{a}_m - T_{C_2}^{C_1} T_B^{C_2} {}^B \mathbf{a}_m\|_2$, где $\|\cdot\|_2$ – евклидова норма. Задача минимизации может быть решена с помощью алгоритма Нелдера–Мида [4], с использованием $T_B^{C_1}$ в качестве начального приближения решения.

Рассмотрим координаты угловых точек $v_n, n = 1, 2, \dots, N$ калибровочного щита в системе координат B (см. рис. 1): ${}^B \mathbf{v}_1 = (0, 0, 0)^T, {}^B \mathbf{v}_2 = (0, S_r, 0)^T, {}^B \mathbf{v}_3 = (S_l, S_r, 0)^T, {}^B \mathbf{v}_4 = (S_l, 0, 0)^T$. В случае прямоугольного калибровочного щита $N=4$. Когда матрица $\bar{T}_B^{C_1}$ найдена, легко получить координаты ${}^{C_1} \mathbf{v}_n$ точек v_n в системе координат камеры C_1 :

$$\begin{pmatrix} {}^{C_1} \mathbf{v}_n \\ 1 \end{pmatrix} = \bar{T}_B^{C_1} \cdot \begin{pmatrix} {}^B \mathbf{v}_n \\ 1 \end{pmatrix}.$$

Алгоритм поиска угловых точек щита состоит из следующих этапов:

Осуществляется калибровка камер. В результате калибровки становятся известны внутренние параметры камер и матрица $T_{C_2}^{C_1}$.

По уточнённым угловым точкам a_m ArUco-маркеров, и известным координатам ${}^B \mathbf{a}_m$ этих же точек в системе координат B с помощью PnP алгоритма вычисляется матрица преобразования $T_B^{C_1}$.

Вычисляется уточнённая матрица $\bar{T}_B^{C_1}$ преобразования. В качестве начального приближения используется матрица $T_B^{C_1}$.

Вычисляются координаты ${}^{C_1} \mathbf{v}_n$.

Таким образом, трёхмерные координаты ${}^{C_1} \mathbf{v}_n$ угловых точек калибровочного щита в системе координат камеры C_1 могут быть найдены с использованием ArUco-маркеров и уточнены с помощью данных со второй камеры.

1.3 Поиск угловых точек щита по данным лидара

Найти координаты ${}^L \mathbf{v}_n$ угловых точек v_n в системе координат L можно с помощью полуавтоматического подхода. Данный подход потребует участия оператора на начальном этапе. В виду того, что данные, получаемые с лидара, могут обладать небольшой плотностью, то автоматическое выделение калибровочного щита не является тривиальной задачей, так как зависит от многих факторов, в том числе от количества лазерных точек на калибровочном щите и окружающей обстановки. Участие оператора позволяет стабильно решать

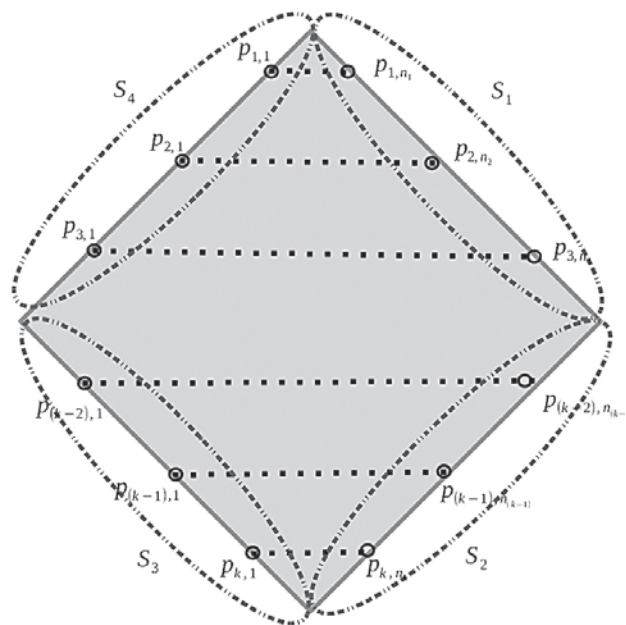


Рис. 3. Схема облака точек калибровочного щита.

Приведём алгоритм нахождения угловых точек щита по данным лидара:

1. Оператором выделяется область, содержащая облако точек калибровочного щита.
2. В выделенном облаке точек щита определяются линии лазерного сканирования $p_{k,1} p_{k,n_k}, k = 1, 2, \dots, K$ (см. рис. 3), где K – количество линий, n_k – количество точек в k -ой линии сканирования. Современ-

менные многолучевые лидары, как правило, предоставляют информацию о номере линии лазерного сканирования для каждой точки, в противном случае линии лазерного сканирования могут быть определены оператором.

3. С помощью сравнения координат осуществляется поиск крайних точек в каждой линии сканирования, то есть точек $p_{k,1}$ и p_{k,n_k} , $k=1, 2, \dots, K$.
4. Оператором выделяются регионы S_n содержащие крайние точки $p_{k,1}$ и p_{k,n_k} калибровочного щита (см. рис. 3).
5. В каждой из выделенных областей по крайним точкам $p_{k,1}$ и p_{k,n_k} с помощью алгоритма RANSAC [6] осуществляется поиск параметров прямых, аппроксимирующих границы щита.
6. В качестве трёхмерных координат ${}^L v_n$ угловых точек v_n (см. рис. 1) в системе координат L , берутся трёхмерные координаты точек пересечения смежных прямых, аппроксимирующих границы калибровочного щита. В случае если прямые не пересекаются, то вместо точки пересечения используется середина перпендикуляра, соединяющего две смежные прямые.

Таким образом, трёхмерные координаты ${}^L v_n$ могут быть найдены как пересечение смежных прямых, аппроксимирующих границы щита.

1.4 Взаимная калибровка сенсоров

Пусть имеются калибровочные щиты B_d , $d=1, 2, \dots, D$, где D – количество щитов; ${}^{C_1} v_n^{B_d}$, ${}^L v_n^{B_d}$ – координаты угловых точек калибровочного щита B_d в системе координат камеры C_1 и лидара L соответственно. Будем полагать, что нахождение угловых точек осуществляется так, что координаты ${}^{C_1} v_n^{B_d}$, ${}^L v_n^{B_d}$ соответствуют одной и той же точке v_n на калибровочном щите. Невыполнение данного условия приведёт к неправильной калибровке.

Пусть ${}^{C_1} P = \{ {}^{C_1} \mathbf{q}_i : {}^{C_1} \mathbf{q}_i = {}^{C_1} v_n^{B_d} \}$ – облако угловых точек v_n калибровочных щитов в системе координат камеры C_1 , ${}^L P = \{ {}^L \mathbf{q}_i : {}^L \mathbf{q}_i = {}^L v_n^{B_d} \}$ – облако соответствующих точек, полученное с помощью данных лидара L . Здесь $i=1, 2, \dots, N \cdot D$, $d = \lfloor i / N \rfloor$, $n = i - N \cdot d$; оператор $\lfloor \cdot \rfloor$ – целая часть числа.

Целью калибровки сенсоров является нахождение матрицы преобразования $T_L^{C_1}$ (см. рис. 1). В данном случае, когда для каждой точки в системе координат камеры C_1 известна соответствующая ей точка в системе координат лидара L , матрица $T_L^{C_1}$ может быть найдена как решение следующей задачи:

$$T_L^{C_1} = \arg \min_{T_L^{C_1}} \sum_{i=1}^{N \cdot D} \| T_L^{C_1} {}^L \mathbf{q}_i - {}^{C_1} \mathbf{q}_i \|_2.$$

Для решения этой задачи может быть использован алгоритм Нелдера–Мида [4]. В качестве начального приближения решения можно взять матрицу

преобразования, полученную с помощью алгоритма Кабша [7].

Методику калибровки взаимного расположения лидара и двух камер с помощью одного калибровочного щита можно сформулировать следующим образом:

1. Изготовить калибровочный щит (см. п. 1.1).
2. Закрепить лидар и камеры неподвижно относительно друг друга.
3. Поместить в поле зрения сенсоров калибровочный щит, зафиксировав его в некотором статичном положении.
4. Записать не менее 50 кадров сцены, не изменяя положения сенсоров в процессе записи. Под кадром сцены понимается облако точек сцены и изображения с камер, которые получены с сенсоров синхронно в один и тот же момент времени.
5. Изменить положение калибровочного щита и повторить шаг 4. Повторить данный шаг не менее 5 раз. В результате получим кадры сцены при различных положениях щита.
6. Выполнить калибровку взаимного расположения сенсоров (см. п. 1.2–1.4), рассматривая каждое новое положение калибровочного щита как добавление еще одного щита на сцену.

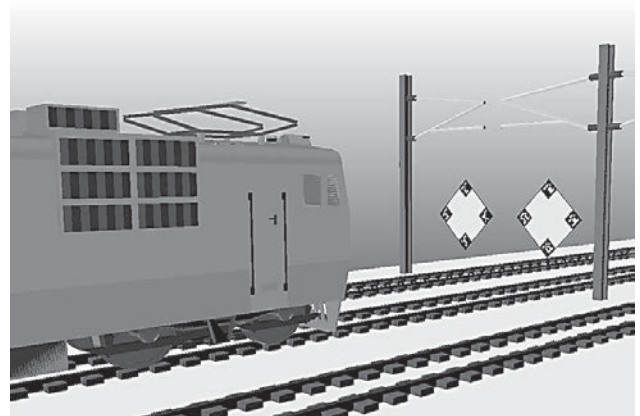


Рис. 4. Сцена калибровки в симуляторе V-REP

2. Эксперименты

Для получения экспериментальной оценки точности калибровки была проведена серия виртуальных экспериментов. На рис. 4 изображена виртуальная сцена калибровки во фреймворке для симуляции роботизированных систем V-REP. Симулятор позволяет смоделировать работу камер и лидара, а также получить точные данные о взаимном расположении сенсоров.

Пусть R , \mathbf{t} – матрица поворота и вектор сдвига, полученные в результате калибровки, а R_g , \mathbf{t}_g – точная матрица поворота и вектор сдвига сенсоров друг относительно друга. Благодаря возможности задавать все параметры (в том числе искомые параметры внешней калибровки сенсоров), появляется возможность срав-

нивать полученные параметры внешней калибровки сенсоров с параметрами, заданными в модели, которые являются истинными (эталонными). Величины $e_t = \|\mathbf{t} - \mathbf{t}_g\|_2$, $e_r = \|\mathbf{r}_e\|_2$ характеризуют то, как сильно отличаются полученные в результате калибровки параметры от истинных (эталонных) параметров калибровки. Здесь \mathbf{r}_e – векторное представление матрицы $R^{-1}R_g$ такое, что поворот на угол, численно равный $\|\mathbf{r}_e\|_2$, вокруг единичного вектора $\mathbf{r}_e / \|\mathbf{r}_e\|_2$ эквивалентен повороту с помощью матрицы $R^{-1}R_g$. Будем называть e_r ошибкой поворота, а e_t – ошибкой смещения.

Виртуальные эксперименты проводились для различных взаимных расположений сенсоров (лидара и камер), с использованием двух калибровочных щитов с четырьмя маркерами (см. рис. 4). Для лучшего приближения к реальным данным в моделируемые данные лидара добавлялся Гауссов шум $\mathcal{N}(0, \sigma^2)$ с различными значениями стандартного отклонения σ .

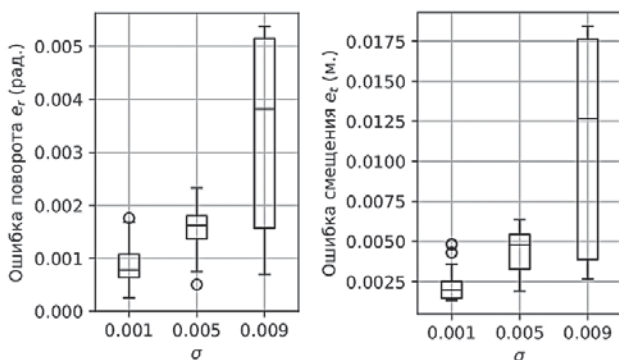


Рис. 5. Влияние шума на точность калибровки

На рис. 5. изображены результаты экспериментов для различных уровней зашумления данных ($\sigma = 0,001$, $\sigma = 0,005$, $\sigma = 0,009$). Результаты экспериментов представлены в виде диаграмм размаха, которые компактно изображают распределение значений e_r , e_t . Такой вид диаграмм в удобной форме отображает медиану, нижний и верхний квартили, минимальное и максимальное значение и выбросы. Для построения каждой из диаграмм размаха использовалось 25 различных экспериментов. В каждом эксперименте использовались по три различных положения калибровочных щитов, для каждого положения рассматривалось 25 кадров сцены. Эксперименты показывают, что величина ошибок калибровки увеличивается с увеличением величины зашумления. Также можно видеть, что предложенный метод калибровки позволяет осуществлять калибровку лидара и камер с точностью, сравнимой с погрешностью сенсоров.

Заключение

В работе предложен метод калибровки, который позволяет решать задачу определения взаимного рас-

положения лазерного дальномера и видеокамер. Предложенный метод не налагает никаких ограничений на место, в котором должна проводиться калибровка. Для калибровки достаточно одного калибровочного щита. Для исследования предлагаемого метода проведена серия виртуальных экспериментов. Результаты экспериментов показывают, что метод обладает точностью сравнимой с погрешностью сенсоров. Точная калибровка позволяет объединять данные с лидара и камер в единую цифровую модель, которая затем может использоваться для решения задачи автоматического мониторинга железнодорожной инфраструктуры.

Литература:

- Garrido-Jurado, S. Automatic generation and detection of highly reliable fiducial markers under occlusion / S. Garrido-Jurado, R. Muñoz-Salinas, F.J. Madrid-Cuevas, M.J. Marín-Jiménez // Pattern Recognition. – 2014. – Vol. 47. – №. 6. – P. 2280-2292.
- Zhang, Z. A flexible new technique for camera calibration // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2000. – Vol. 22, № 11 – P. 1330-1334.
- Lepetit, V. Epnnp: An accurate o (n) solution to the pnp problem / V. Lepetit, F. Moreno-Noguer, P. Fua // International journal of computer vision. – 2009. – Vol. 81, № 2. – P. 155.
- Gao, F. Implementing the Nelder-Mead simplex algorithm with adaptive parameters / F. Gao, L. Han // Computational Optimization and Applications. – 2012. – Vol. 51, № 1. – P. 259-277.
- Abramenko A.A. Applications of algebraic moments for corner and edge detection for locally angular model / A.A. Abramenko, A.N. Karkishchenko // Pattern Recognit. Image Anal. – 2019 – Vol. 29, № 1. – P. 58-71.
- Fischler, M.A. Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography / M.A. Fischler, R.C. Bolles // Communications of the ACM. – 1981. – Vol. 24, № 6. – P. 381-395.
- Kabsch, W. A discussion of the solution for the best rotation to relate two sets of vectors // Acta Crystallographica. – 1978. Vol. 34, № 5. – P. 827-828

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

- Абраменко Александр Андреевич**
Таганрог, Южный федеральный университет,
аспирант
mr.abramenko@yandex.ru

УДК 681.324 + 06

Гуда А.Н., Давыдов Ю.В., Дагладян Г.Д.

Применение искусственных нейроглиальных сетей в интеллектуальном анализе данных¹

Введение

Методы интеллектуального анализа данных (ИАД) доказали свою эффективность, однако, в связи с развитием технических средств, появлением новых направлений деятельности человека, ростом требований к ИАД, такие методы достаточно быстро устаревают. Формирование такого явления, как Большие Данные, во многом снизило результативность многих проверенных методов ИАД, которые оказались слишком медленными или ограниченными размерностью поступающих данных, чтобы их можно было эффективно применять для решения реальных задач. Поэтому поиск новых высокоэффективных методов является одной из наиболее важных задач в сфере интеллектуальной обработки данных на сегодняшний день.

Нейросетевые системы, предложенные более 70 лет назад Маккалоком и Питсом, – одно из наиболее эффективных и интенсивно развивающихся направлений в области интеллектуального анализа данных, методы которого успешно справляются со множеством задач не только в различных областях науки (информатика, генетика, нейробиология), но и тесно интегрировались в бытовые сферы деятельности человека. Методы концепции НС успешно справляются с такими научными задачами, как классификация, кластеризация, регрессия и т.д.). Однако наличие всё ещё большого количества ограничений при использовании этих методов на практике говорит о том, что преждевременно считать эту научную область исследованной и освоенной.

Большинство важных открытий в сфере НС было получено двумя различными путями: конструированием искусственных нейронных сетей (ИНС), реализующих различные математические модели; этот подход наиболее развит сегодня и считается классическим. Однако такие учёные как Ана Порто, Рабунал, пошли по пути разработки НС максимально похожими на мозг человека, небезосновательно считая этот путь более перспективным.

Данная работа представляет собой обзор и одного из неклассических подходов в концепции НС, осно-

ванного на попытке имитации нейроглиальных сетей мозга человека и названного искусственными нейроглиальными сетями (ИНГС) [1]. Интерес к этому виду сетей вызван тем, что многослойная, полносвязная ИНГС, обученная гибридным методом, без применения метода обратного распространения или боковых соединений, оказывается эффективной при решении различных задач, например, задач классификации.

Термин ИНГС предложен в 2004 году итальянской учёной Ана Порто. В основе ИНГС лежит близкая к реальной модель строения мозга человека на клеточном уровне, в соответствии с которой НС мозга состоит не только из нейронов, она также включает в себя глиальные клетки, и некоторые из них, расположенные непосредственно около нейронов, называются астроцитами. Таким образом, в ИНГС имитируется не только работа нейронов, но и работа астроцитов, а также их совместная деятельность.

Искусственная нейроглиальная сеть

В основе искусственных НС чаще всего лежит структурированный набор простых вычислительных элементов, каждый из которых представляет собой имитацию биологического нейрона и его связей. Тем не менее, результаты ряда открытий в области нейробиологии, полученные в течение последних 20 лет показали, что ИАД и интеллектуальная деятельность мозга формируется значительно более сложными структурами, чем просто сеть связанных между собой нейронов, в том числе, важную роль в этом процессе играет и глиальная система. До недавнего времени считалось, что глиальные клетки выполняют лишь второстепенные функции, такие как разделение нейронов, снабжение их питательными веществами и т.д. Однако исследования последних десятилетий, например, [2], показали, что астроциты, активно участвуют в регуляции деятельности нейронов и между ними существует тесная взаимосвязь. Новые факты о деятельности глиальных клеток позволили разработать новую концепцию трёхстороннего синапса (ТС), в который включили, кроме пресинаптического и постсинаптического элементов, и астроцит (рис.1).

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 18-08-00549 А

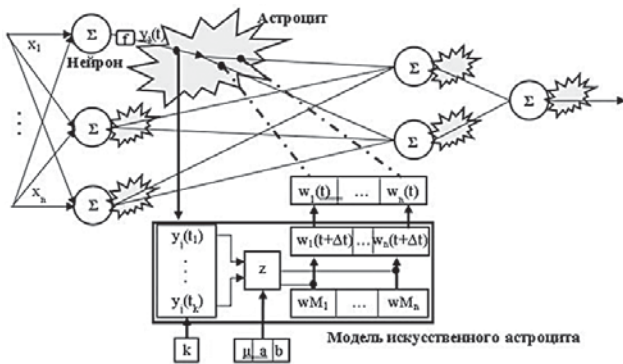


Рис.1. Модель искусственной нейроглиальной сети и искусственного астроцита. Расположение и функционирование искусственного астроцита в ИНГС

На рисунке 1 $\{x_1 \dots x_n\}$ – множество входных данных; $y_j(t) = f(\sum_{i=1}^n w_i x_i)$ – передаточная функция $f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ суммирующая входные, в соответствующий нейрон, сигналы с учётом их весов; wM – максимальное значение веса нейронной связи; $k \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$ – количество итераций, выполняемое для одного входного набора данных; $\mu \in [1, k]$ – количество активаций нейрона за k итераций, необходимое для активации астроцита; $a, b \in [0, 1]$ – процентные значения, на которые будет увеличен (a) или уменьшен (b) вес связи при условии активности или неактивности нейрона в течение μ итераций соответственно. $z(t)$ – функция, определяющая значение a или b , на которое будет изменён вес связи.

Для более полного понимания работы ТС и механизмов взаимодействия нейронов с астроцитами, необходимо разобраться в чём они похожи и чем различаются. Астроциты и нейроны очень похожи механизмом взаимодействия посредством передачи химических импульсов. Получая подобный сигнал, они одинаково на него реагируют, передают его как друг другу, так и между собой. Характеристики такой связи могут колебаться в широких пределах, в зависимости от её активности [3].

Основным отличием между этими видами клеток является скорость и расстояние передачи сигналов, которое обусловлено особенностями их строения: нейрон, включает в себя аксон, который способен передавать электрические импульсы на большие расстояния и с большой скоростью другим нейронам; астроцит же обладает только медленным химическим видом связи, способным к передаче сигналов на короткие расстояния. В связи с этим учёные предполагают, что получение информации, формирование ответа, скорость ответной реакции человека, основаны на нейронных связях. Основываются ли медленные виды нервной деятельности человека, такие как формирование воспоминаний, мышление на астроцитных связях, является ли передача сигналов между астроцитами механизмом контроля их деятельности, точно не известно, поэтому исследования в этой области ведутся до сих пор.

В основу идеи ТС и ИНГС лёг ряд противоречий между работой классических ИНС и реальных биологических сетей. Например, в многослойном персептроне функцию возбуждения и торможения выполняют связи нейронов и их веса, тогда как в естественных НС эту функцию выполняют сами нейроны, а возможно (как показывают исследования [2]) и астроциты. Другое противоречие относится к одному из самых известных алгоритмов обучения, алгоритму обратного распространения ошибки, в соответствии с которым изменение весов связей НС происходит путём передачи ошибки обучения сети в обратном направлении к её входам. Однако из [4] известно, что естественный нейрон не способен передавать информацию в обратном направлении, но, в определённых условиях, данное ограничение можно обойти как раз с помощью астроцитов. Следующее противоречие связано с методом обучения с учителем. Если предположить, что обучение естественной НС происходит посредством «учителя», то существует и некая совокупность особенных нейронов, выступающих в роли «учителя», что считается не соответствующим реальности на сегодняшний день. Однако поведение астроцитов в естественных НС может быть интерпретировано и в таком контексте [2, 5, 6].

При разработке методов тренировки ИНГС учитывался тот фактор, что математические модели обучения часто опираются на эволюционные методы вычисления [7]. Поэтому, в 2004 году Ана Порто предложила гибридный метод обучения ИНГС, в котором, по аналогии с биологическими моделями, в процесс модификации весов включается и их оптимизация с применением генетического алгоритма (ГА) как части глиальной клетки, что напоминает процесс взаимодействия астроцита с нейронами в ТС в естественных сетях.

Подробное описание результатов применения ИНГС и гибридного метода обучения представлено в работах А. Порто в [2, 8, 9]. В них показано, что при решении одних и тех же задач, эффективность применения ИНГС оказывается выше, чем у классических ИНС с такими же характеристиками.

Основной алгоритм обучения ИНГС, предложенный А. Порто, является смешанным и состоит из двух фаз. Первая фаза – обучение без учителя. На этом этапе происходит настройка весов нейронных связей на основе тех правил работы трёхстороннего синапса и искусственного астроцита, которые были установлены в модели ИНГС. Вторая фаза – обучение с учителем. На этом шаге происходит оптимизация значений весов, полученных на первом этапе, с помощью генетического алгоритма в соответствии с их среднеквадратичной ошибкой, значение которой также вычисляется на первой фазе обучения.

Учитывая введение в архитектуру ИНС нового структурного элемента, рассмотрим более детально первый этап обучения модернизированной сети.

Каждый пример, каждый входной набор данных, который используется для тренировки и проверки ИНГС обрабатывается в течение k итераций. Искусственный астроцит регистрирует активность нейрона за k итераций, применяя к выходу нейрона $y_j(t)$ функцию $u: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{Z}$, которая принимает значения 1 или -1, в зависимости от того был активен нейрон или нет.

Исходя из анализа первого рисунка и вышесказанного, можно сделать вывод, что искусственный астроцит отслеживает активность своего нейрона в любой момент времени и может модифицировать значения весов связей своего нейрона, когда счётчик активности этого нейрона станет равным μ . Искусственный астроцит может менять как веса входных связей нейрона, так и выходных или обоих видов связей одновременно:

$$w_i(t + \Delta t) = w_i(t) + \Delta w_i(t),$$

где $\Delta w_i(t) = |w_i(t)|z(t)$, а функция $z: \mathbb{N} \setminus \{0\} \rightarrow \mathbb{R}$ определяется как:

$$z(t) = \begin{cases} a, & r_j(t) = \mu, \\ -b, & r_j(t) = -\mu, \end{cases}$$

где $r_j: \mathbb{N} \setminus \{0\} \rightarrow [-\mu, \mu]$ – функция, определяющая сколько раз был активен нейрон за k итераций. Если результат функции равен μ – веса связей будут увеличены на процент a , если же нейрон был неактивен в течение μ итераций (т.е. $r_j(t) = -\mu$) – значение весов связей будет уменьшено на процент b .

Существуют разные подходы для вычисления значений функции $r_j(t)$, первые появившиеся методы опираются на две важные характеристики, которые может отслеживать искусственный астроцит: контроль за последовательностью активации нейронов и ограничение возможных значений весов максимально допустимым значением wM при вычислениях. Таким образом сочетание различных комбинаций этих показателей, например, при вычислении $r_j(t)$ обязательно учитывать строгую последовательность активации нейронов и максимальное значение веса или учитывать последовательность активации нейронов, но не учитывать максимальное значение веса и т.д., даёт возможность гибко управлять работой искусственного астроцита.

Один из методов такого рода – метод ослабленного астроцита. В нём не контролируется ни последовательность активации, ни максимальное значение веса связей ($w_i(t + \Delta t) = w_i(t) + \Delta w_{ij}(t)$). А функция $r_j(t)$ определена следующим выражением:

$$r_j(t) = \begin{cases} u(y_j(t)) + r_j(t-1), & t > 0, r_j(t-1) \in (-\mu, \mu), \\ r_j(t-1), & t > 0, r_j(t-1) \in \{-\mu, \mu\}, \\ u(y_j(t)), & \text{во всех остальных случаях.} \end{cases}$$

Основным отличием от аналогичных методов является то, что счётчик учёта активности нейрона не обнуляется при достижении порога μ или $-\mu$. И, соответственно, значение веса нейронных связей будет корректироваться в ту или иную сторону на каждой итерации, пока значение счётчика находится за границей порога μ или равно его значению. Таким образом любое состояние нейрона становится более устойчивым, а нейронная активность начинает возрастать и спадать волнообразно, давая возможность ИНГС более гибко реагировать на входные данные.

Объединённая модель ИНС на основе радиально-базисных функций, приближённых множеств и ИНГС

Опираясь на основные положения теории приближённых множеств (ТПМ) [10] и материалы, представленные в работе [11], можно сделать вывод о возможности улучшения гибридной архитектуры ИНС на основе радиально-базисных функций и приближённых множеств (РБФ ИНСПМ) путём внедрения в её структуру искусственных астроцитов. Как было описано в [11], одним из эффективных способов обучения РБФ ИНСПМ является метод взвешенного регуляризованного экстремального обучения (МВРЭО) совместно с методом распространения близости (РБ-метод). Однако и этот способ зависит от сложности архитектуры сети, т.е. чем больше размерность сети, тем сложнее будет найти обратную или псевдообратную матрицу при вычислении вектора весов скрытого слоя, а также определить оптимальные параметры выходной матрицы скрытого слоя H .

Одним из способов решения данной проблемы может стать внедрение во входной слой, после этапа сокращения атрибутов, в скрытый и выходной слои РБФ ИНСПМ искусственных астроцитов.

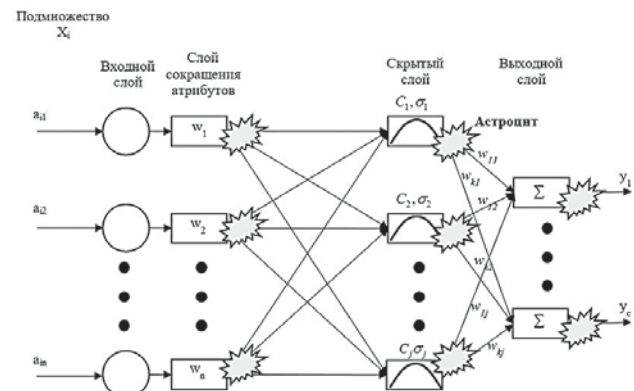


Рис.2. Объединённая модель РБФ сети, основанной на приближённых множествах и искусственной нейроглиальной сети

В качестве базового алгоритма работы искусственного астроцита автор предлагает использовать метод ослабленного астроцита в связи с тем, что при обра-

ботке гетерогенных наборов данных, в задачах кластеризации и классификации, переходной процесс в модели должен быть максимально плавным, адекватно реагируя на выбросы в данных. Более того, включение глиальных клеток в структуру РБФ ИНСПМ позволит сделать сеть более гибкой, повысит её обобщающую способность и эффективность при работе с большими гетерогенными наборами данных.

На рисунке 2 представлена интегрированная модель РБФ ИНСП и ИНГС (РБФ ИНГСМ), на которой видно, что нейроны входного слоя, после этапа сокращения атрибутов, нейроны скрытого и выходных слоёв, а также их связи, в отличие от модели РБФ ИНСП, находятся под управлением искусственных астроцитов.

В качестве метода обучения может быть применён уже описанный ранее в работе модернизированный двухэтапный алгоритм, где, в качестве первого этапа будет выполняться сокращение атрибутов на основе вычисления их степени важности и обучение без учителя с настройкой весов искусственными астроцитами, а на втором будет применён генетический алгоритм, который на основе среднеквадратической ошибки весов, вычисленной на первом этапе, выполнит оптимизацию весов всей сети.

Заключение

Усложнение структур обрабатываемых данных и увеличение их объёмов приводит к устареванию существующих методов ИАД. В связи с чем, в этой области постоянно ведутся исследования и разрабатываются новые подходы к анализу данных. Одним из наиболее перспективных направлений в этой сфере является разработка НС стремящихся максимально точно соответствовать структуре и функциям биологических систем, к таким технологиям можно отнести и ИНГС.

В данной работе рассмотрен один из неклассических, но приобретающих всё большее признание, подходов построения НС на сетевого взаимодействия искусственных нейронов и искусственных астроцитов, объединённых в трёхсторонний синапс.

Благодаря применённому для обучения искусственной НС гибриднему методу на основе обучения без учителя и ГА, удалось избежать усложнения процесса тренировки. А эксперименты, поставленные А. Порто, показали эффективность применения ИНГС при решении реальных задач, например, задачи классификации, по сравнению с классическими ИНС со сходными характеристиками.

Литература:

1. Искусственный интеллект и универсальное мышление / А.С. Потапов. – СПб.: Политехника, 2012. – 274-285 с.
2. Porto, A., Araque, A., Rabuñal, J., Dorado, J., & Pazos, A. A. New Hybrid Evolutionary Mechanism Based

- on Unsupervised Learning for Connectionist Systems. *Neurocomputing*, vol. 70, no. 16-18, pp. 2799-2808, 2007
3. Pasti, L., Volterra, A., Pozzan, R., & Carmignoto, G. Intracellular calcium oscillations in astrocytes: a highly plastic, bidirectional form of communication between neurons and astrocytes in situ. *Journal of Neuroscience*, vol. 17, pp. 7817-7830, 1997
 4. Ramón y Cajal, S. *Histologie du système nerveux de l'homme et des vertébrés*. Maloine, Paris, 1911
 5. Araque, A., Carmignoto, G., & Haydon, P. G. Dynamic Signaling Between Astrocytes and Neurons. *Annu. Rev. Physiol.*, vol. 63, pp. 795-813, 2001
 6. Perea, G., & Araque, A. Communication between astrocytes and neurons: a complex language. *Journal of Physiology*. Paris: Elsevier Science, 2002
 7. Dorado, J. *Modelo de un Sistema para la Selección Automática en Dominios Complejos, con una Estrategia Cooperativa, de Conjuntos de Entrenamiento y Arquitecturas Ideales de Redes de Neuronas Artificiales Utilizando Algoritmos Genéticos*. Tesis Doctoral. Facultad de Informática. Universidade da Coruña, 1999
 8. Porto, A. *Computational Models for optimizing the Learning and the Information Processing in Adaptive Systems*, Ph.D. Thesis, Faculty of Computer Science, University of A Coruña, 2004
 9. Porto, A., Araque, A., & Pazos, A. Artificial Neural Networks based on Brain Circuits Behaviour and Genetic Algorithms. *LNCS*. 3512, pp. 99-106, 2005
 10. Pawalk, Z. *Rough sets/Z. Pawalk//International Journal of Computer and Information Sciences*. -1982. -vol. 11, No 5. -P. 341-356.
 11. Давыдов, Ю.В. Бутакова М.А. Дагдьян Г.Д. Применение метода экстремального обучения в гибридных интеллектуальных системах для инфраструктуры железнодорожного транспорта/Ю.В. Давыдов М.А. Бутакова, Г.Д. Дагдьян//Труды международной науч.-практ. конф. «Транспорт: наука, образование, производство». –Ростов-на-Дону: ФГБОУ ВО РГУПС, 2018. -С. 50-54.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Гуда Александр Николаевич**
Ростов-на-Дону, ФГБОУ ВО РГУПС,
проректор по научной работе,
доктор технических наук, профессор
guda@rgups.ru
- **Давыдов Юрий Владимирович**
Ростов-на-Дону, ФГБОУ ВО РГУПС,
ведущий программист Управления информатизации
dav_ui@rgups.ru
- **Дагдьян Григорий Дзарукович**
Ростов-на-Дону, ФГБОУ ВО РГУПС,
программист Управления информатизации
dav_ui@rgups.ru

УДК 656.073: 658.8

Покровская О.Д.

Интерактивная карта «Терминальная сеть» как цифровая платформа терминально-складского бизнеса ОАО «РЖД»¹

Введение. Актуальность и цель работы.

В условиях цифровизации бизнеса и перехода Холдинга «РЖД» в статус транспортно-логистической компании, требуются новые, прикладные решения для повышения клиентоориентированности терминально-логистической деятельности и для формирования единой цифровой платформы.

Цель работы – предложить решения, направленные на совершенствование функционирования объектов терминально-складской инфраструктуры в условиях реализации проекта «Цифровая железная дорога».

Комплексным научнотехническим проектом «Цифровая железная дорога» предусмотрено приоритетное развитие и внедрение цифровых технологий в бизнес-процессы ОАО «РЖД» и, в частности, транспортно-логистический бизнесблок (согласно [1-4]). В 2018 г. в рамках развития цифровой модели бизнеса Минтранс инициировал разработку концепции создания цифровой платформы транспортного комплекса. Это предполагает управление деятельностью по принципам онлайн-ведения бизнес-процедур, согласованности действий участников, сквозного управления сервисами, а также инновационного программного обеспечения.

В ОАО «РЖД» много внимания уделяется принципу клиентоориентированности при оказании интегрированных логистических услуг.

Потеря железнодорожным транспортом потенциальных клиентов и высокодоходных грузопотоков связана, с одной стороны, с низкой доступностью информации о логистических объектах ОАО «РЖД».

С другой стороны, логистическая деятельность, составляющая 20% в бизнесе Холдинга, никак не регламентируется – отсутствует комплексная система оценки и нормирования терминально-складской деятельности, что не позволяет создать эффективный инструментарий для совершенствования работы логистических объектов (далее – ЛО), расположенных на сети железных дорог, на базе которых реализуется широкий спектр комплексного логистического обслуживания. Устранить этот недостаток без создания еди-

ной цифровой платформы, отражающей как значимые для клиента параметры ЛО, так и эксплуатационные параметры состояния терминальной сети Холдинга, не представляется возможным [5].

Очевидно, что без единого подхода к подаче информации в клиентоориентированном виде, единой информационной среды для ведения терминального бизнеса онлайн и взаимодействия с клиентами цифровая платформа окажется неработоспособной.

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 [6].

Авторская идея цифровой платформы «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.

Сама по себе терминальная сеть – это интегрированная грузопроводящая мезологистическая система, являющаяся совокупностью взаимодействующих узлов (логистических объектов), соединенных транспортными звеньями, для сквозной интеграции и выхода на транспортные коридоры [7-8].

Цифровой платформой будем считать совокупность программного обеспечения, в том числе и цифровые клиентские сервисы как самостоятельный блок проекта «Цифровая железная дорога» по управлению, контролю, оценке и нормированию работы отдельных логистических объектов и опорной терминальной сети ОАО «РЖД» в целом [9].

«Терминальная сеть» позволит анализировать работу логистических объектов и всей сети, вести визуальный контроль оперативной обстановки по загрузке терминальных мощностей, обрабатывать заявки на

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.).

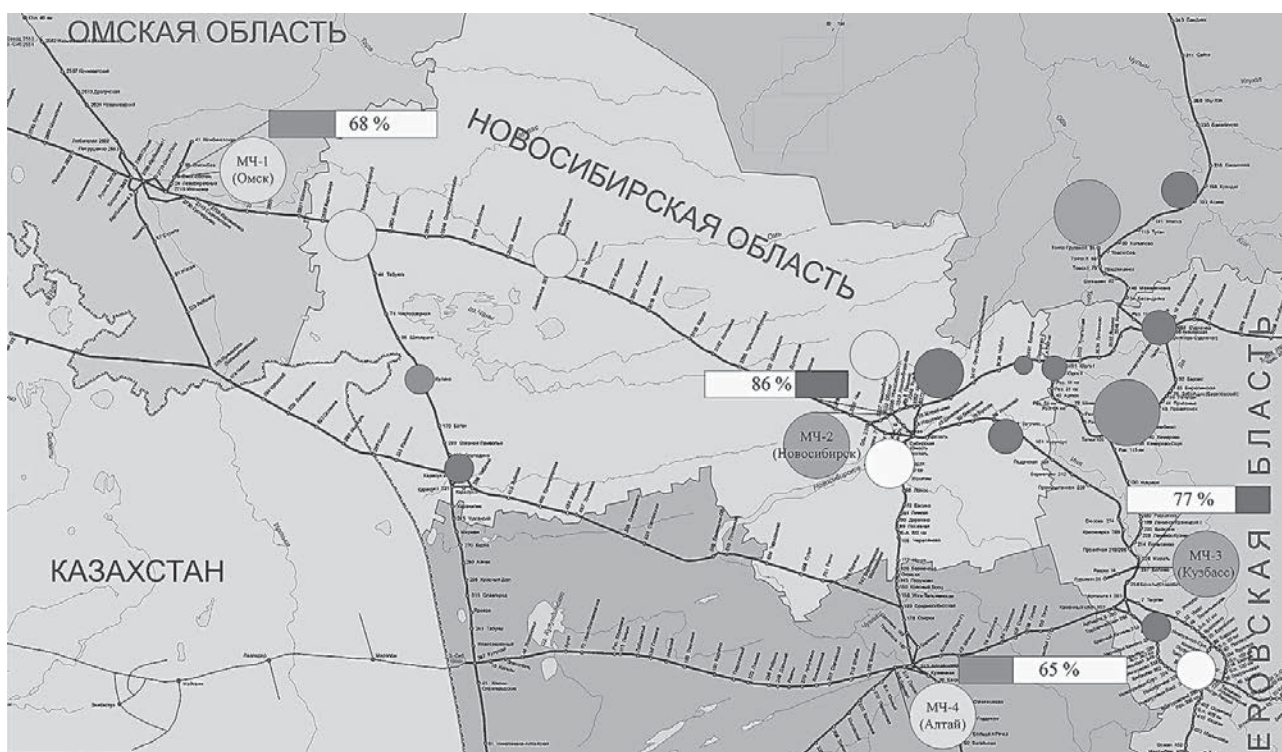


Рис.1. Интерфейс цифровой платформы «Терминальная сеть», демо-версия

логистический сервис. Такая система станет основным инструментом взаимодействия участников процесса перевозок и создаст информационное обеспечение для подготовки к выходу Холдинга «РЖД» на новый уровень логистического провайдинга. Создание цифровой платформы «Терминальная сеть» позволит повысить эффективность управления и контроля терминально-складской инфраструктуры и принятие адекватных решений по организации систем доставки грузов через терминальную сеть.

Интерактивная карта «Терминальная сеть».

В работе предложена версия программы, позволяющей вести базу данных всех логистических объектов (ЛО), размещенных на железнодорожных станциях; визуализировать их текущее эксплуатационное состояние, комплексно оценить режим и параметры их работы.

Функциональные задачи программы:

1. Программа позволит создать базу данных всех логистических объектов ОАО «РЖД» и их конкурентов и в интерактивном режиме администрировать ее.
2. Автоматизирует идею создания базы данных терминалов и методику логистического нормирования деятельности терминальной сети.
3. Позволяет визуализировать расположение и состояние объектов, выгружать статистику по терминальной сети.

По итогам разработки демо-версии интерактивной карты терминальной инфраструктуры было получено свидетельство Роспатента № 2018662559 «Информационно-аналитическая карта логистических объектов».

Кроме того, методические рекомендации по реализации расчетных методик терминалистики и по проведению комплексной оценки работы терминально-складской инфраструктуры подробно изложены в монографии и реализованы в программе управления репозиторию научного направления «Терминалистика», запатентованной автором в 2017 г. В этом программном продукте все расчетные процедуры (включая построение графических зависимостей) с применением системы логистического нормирования полностью автоматизированы. Программа предназначена для проведения полноценного логистического аудита и комплексной оценки средствами терминалистики. Данный программный продукт может стать одним из модулей предлагаемой цифровой платформы «Терминальная сеть».

Основная причина создания цифровой платформы заключается в том, что в программном комплексе ОАО «РЖД» нет программы, которая бы собирала, анализировала все данные о транспортно-логистической инфраструктуры страны, упрощала расчет их эффективности и осуществляла бы ситуационное оперативное управление ими в интерактивном режиме.

Структура программы: расчет комплекса параметров при проведении логистического аудита (по авторской методике с применением системы логистического нормирования деятельности терминально-складской инфраструктуры); интерактивная карта объектов с информацией о них (текущее состояние, число и дислокация, услуги, характеристики) – контроль, управление, поиск, выбор; аналитика (визуализация, выгрузка в MS EXCEL).

Направления развития данной цифровой платформы: обеспечить взаимообмен данными с ЭТП «Грузовые перевозки», «Цифровая логистика», ЭТРАН, владельцами объектов; обеспечить цифровизацию предоставления услуг и комплексность логистического обслуживания на объектах терминальной сети ОАО «РЖД»; реализовать детальную прорисовку карты с формированием «сквозной» базы данных по сети, а также базы данных частных объектов; добавить модуль проектирования терминальной сети.

В интерфейсе цифровой платформы совмещен функционал для работы с коммерческими предложениями и заявками (клиентский вариант), а также расширенный вариант для ОАО «РЖД». На него выводятся данные: о загрузке мощностей железных дорог по участкам и узлам терминальной сети с цветовой индикацией и учетом текущих эксплуатационных параметров по грузоперерабатывающей способности каждого элемента сети (с использованием оценочных методик, описанных в работах [10-11]).

На рис.1 представлена принципиальная концепция общего вида цифровой платформы «Терминальная сеть». Полный функционал этой платформы может быть реализован только при условии законодательного утверждения методик классификации и идентификации ЛО, а также при создании общесетевой базы данных о ЛО по всей терминальной сети ОАО «РЖД» в формате знака, номера и класса ЛО. Знак, номер и класс ЛО, подробно описанные в более ранних работах автора [5, 12-13]), могут стать основой для формирования цифровых паспортов работающих на сети ОАО «РЖД» ЛО и послужить базисом для создания единой информационной среды с клиентом.

Система комплексной оценки может быть дополнена реализацией расчетных методик по выбору наилучшей конфигурации терминальной сети (изложенных в работах [14-15]). При этом ОАО «РЖД» имеет расширенный функционал в администрировании платформы с реализацией концепции и принципов формирования терминальной сети железных дорог, изложенных в работах [16-18].

И перевозчик, и клиент, и другие участники процесса перевозок (складские операторы, экспедиторы, логистические провайдеры) получают единую цифровую платформу для управления всеми элементами грузодвижения и грузопереработки. Клиенту цифровая платформа «Терминальная сеть», как цифровая платформа ведения терминально-складского бизнеса, позволит выбрать подходящий по параметрам и услугам ЛО. ОАО «РЖД» с ее помощью можно будет оценивать уровень логистического обслуживания территории и планировать развитие собственной терминальной сети на основе расчета и отслеживания показателей элементов сети.

Достижению этих целей будет способствовать составление интерактивной карты терминально-складской инфраструктуры для визуализации ее элементов и учета их эффективной загрузки с учетом дислокации на территории сетевых районов. Кроме того, интерактивная карта дает возможность в режиме online визуально контролировать функционирование ЛО, работать с клиентами и их заявками «в одно окно».

За основу предлагается взять карту сети железных дорог с дислокацией элементов терминальной сети по полигонам дорог, МЧ и отдельных ЛО. При детализации карты (по запросу) также могут быть показаны автодороги, объекты дочерних предприятий Холдинга (например, ЛО ПАО «Трансконтейнер», АО «РЖД Логистика» и др.). При интеграции платформы «Терминальная сеть» с клиентской базой возможно также нанесение на карту точек дислокации ключевых предприятий-клиентов Холдинга.

Кружками обозначены ЛО. Цвет каждого указывает (в соответствии с маркировочным знаком) на типологию грузов, с которыми может работать ЛО. Размер кружков указывает на объемы грузопереработки каждого ЛО в заданный период времени.

Загрузка мощностей каждого ЛО с цветовой индикацией и указанием процента использования резерва показана прямоугольниками напротив ЛО. Данные формируются в режиме онлайн и могут быть представлены пользователю как в виде, показанном в интерфейсе, так и с детализацией (статистические данные, выгружаемые в файл MS Office Excel) по запросу. Красный цвет говорит о работе элемента терминальной сети – узла (ЛО) или участка – на предельных мощностях, например, на 82% загрузки резерва техники и площадей хранения; желтый цвет – о загрузке мощностей на 75%; зеленый же – о работе ЛО в более легких условиях.

Кроме того, любой пользователь может вызвать контекстное меню, в котором имеется информация по каждому ЛО (например, тип ЛО, ассортимент терминальных и дополнительных услуг, их стоимости с указанием логистического класса и идентификационного номера ЛО и мн.др.).

Направлением дальнейшего расширения функционала данной цифровой платформы может стать наряду с комплексной оценкой деятельности ЛО по технико-эксплуатационным параметрам также оценка их техносферной безопасности и построение «зеленых» логистических цепей с учетом экологической составляющей (например, с применением методик, изложенных в работах [19-21]). Таким образом, при работе с цифровой платформой клиент-заказчик получает возможность подачи заявки в режиме онлайн «в одно окно», а также выбрать необходимый ему пакет

дополнительных услуг. При соответствующем уровне интеграции с другими программами, используемыми в операционной деятельности ОАО «РЖД», возможно уточнение состояния груза (в пути, на ЛО станции отправления или назначения...).

В составе цифровой платформы должна находиться также база данных о ЛО. На рис.2–3 показаны рабочие окна модуля программы, в котором проводится комплексная оценка текущего состояния ЛО, что позволит Холдингу контролировать эксплуатационные параметры состояния терминальной сети.

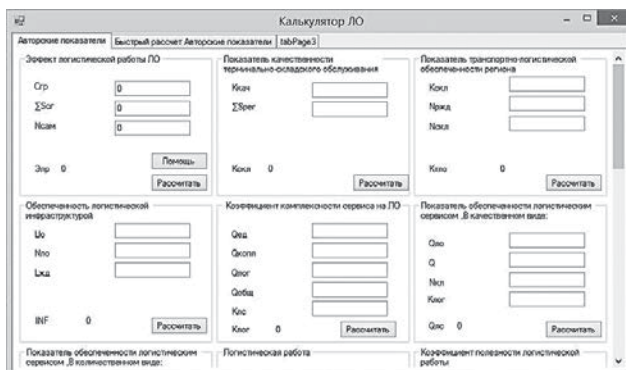


Рис.2. Скриншот рабочего окна по расчету показателей работы ЛО

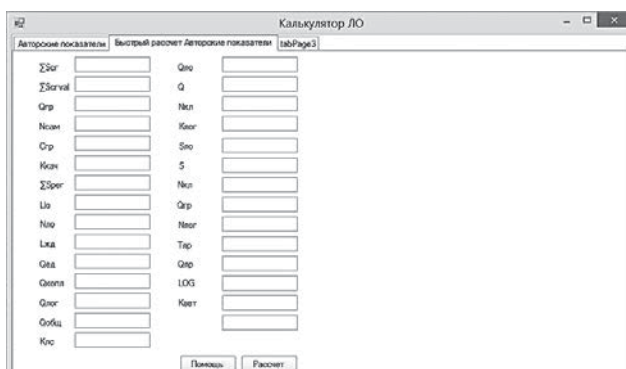


Рис.3. Скриншот рабочего окна по «быстрому расчету» авторских показателей СЛон

В основу расчетной методологии комплексной оценки состояния терминальной сети положена система логистического нормирования (СЛон), подробно описанная в более ранней работе автора.

На рис.4 показан состав СЛон как системы показателей, расчет которых автоматизирован в предлагаемом программном обеспечении «Информационно-аналитическая карта логистических объектов».

Предполагается, что функционирование цифровой платформы «Терминальная сеть» позволит расширить применение СЛон и проводить онлайн-расчет показателей при визуальном контроле терминальной сети по интерактивной карте с индикацией текущего состояния каждого ЛО.



Рис.4. Состав СЛон как системы показателей по комплексной оценке работы терминальной сети.

Заключение. Применимость результатов.

Таким образом, работая с цифровой платформой, клиент может видеть все альтернативные варианты построения собственной логистической цепи по интерактивной карте опорной терминальной сети ОАО «РЖД», ознакомиться с прейскурантом на терминальные услуги, а также не только в один клик сформировать заявку на терминальный сервис, но и получить онлайн-консультацию специалиста. Цифровая платформа при этом должна быть интегрирована с сервисами ОАО «РЖД», предоставляющими услуги перевозки, для предложения клиенту «сквозного бесшовного» комплекса услуг по всей длине цепи доставки груза.

В свою очередь, Холдинг также может оценить и проконтролировать текущее состояние каждого элемента терминальной сети (логистического объекта, участка сети и др.), выполнить расчеты по проектированию и развитию терминальной сети, а также планировать распределение грузовой и коммерческой работы, администрировать клиентские базы и базы данных ЛО и др. Для ОАО «РЖД» цифровая платформа «Терминальная сеть» даст прикладные инструменты по онлайн-контролю эксплуатационных параметров и режима загрузки каждого ЛО, обеспечит удобство пономерного учета ЛО и доступность информации по каждому ЛО при построении логистических схем любой сложности.

Дальнейшее совершенствование программного обеспечения идентификации и оценки ЛО, его интеграция в единый интерфейс с АСУЖТ, ИСУЖТ и клиентами, позволит реализовать прикладные идеи цифровой платформы с пилотным названием «Терминальная сеть».

В будущем ее применение создаст условия для трансформации ОАО в логистическую компанию уровня 4 PL, которая сможет выработать систему нормирования параметров железнодорожных логистических объектов и инициировать принятие государственного стандарта в сфере терминально-складской инфраструктуры.

Такой широкий и актуальный функционал позволяет полагать, что внедрение на сети дорог цифровой платформы «Терминальная сеть» повысит эффективность управления терминально-складской инфраструктурой, позволит принимать эффективные решения по организации доставки грузов.

Литература:

1. 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
2. Проект реализации комплексного научно-технического проекта «Цифровая железная дорога». URL: <https://www.samgups.ru/units/unir/Proekt%20konceptii%20cifr.%20dorogi.pdf>
3. 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
4. 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>
5. «Сбитый прицел» клиентоориентированности // РЖД-Партнер, 2016. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [URL: <http://www.rzd-partner.ru/logistics/news/sbitiyi-pritsel--klientoorientirovannosti-414174/>] (дата обращения: 20.09.2019 г.).
6. Экономика России: прошлое, настоящее, будущее: монография / Под общ.ред. Н.А. Адамова // – М. : ИТКОР, 2014. – 248 с.
7. Самуйлов В.М. Практика и эффективность формирования транспортно-логистических кластеров / В.М. Самуйлов, О.Д. Покровская // Вестник УрГУПС. 2016. № 4 (32). С. 76-88.
8. Самуйлов В.М. Интеграция региональной терминально-логистической сети в международные транспортные коридоры / В.М.Самуйлов, О.Д. Покровская, Т.П. Воскресенская// Инновационный транспорт. – 2013. – № 1 (7). – С. 33-37.
9. Бубнова Г. Цифровая логистика и безопасность цепей поставок / Г. Бубнова, П.Куренков, А.Некрасов // Логистика. – 2017. – № 7 (128). – С. 46–50.
10. Коровяковский Е.К. Логистика терминалов: перспективное направление логистики / О.Д. Покровская, Е.К. Коровяковский // Известия ПГУПС. – 2015. – № 3 (44). – С. 155-164.
11. Маликов О.Б. Классификация, иерархия и идентификация объектов терминально-складской инфраструктуры / О.Д. Покровская, О.Б. Маликов // Транспорт: наука, техника, управление. – 2017. – № 8. – С.13-21.
12. Pokrovskaya O.D. Chi terminelistica reale come una nuova direzione scientifica / O.D.Pokrovskaya // Italian Science Review.2016; 1(34). PP. 112-116.
13. 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.
14. Воскресенская Т.П. Методика и алгоритмизация принятия решений по формированию терминальной сети в регионе / Т.П. Воскресенская , О.Д. Покровская // Вестник УрГУПС. – 2010. – № 3 (7). – С. 74-84.
15. Воскресенский И.В. Алгоритмизация комплексного расчета параметров терминальной сети региона / О. Д. Покровская, И. В. Воскресенский // Транспорт Урала. – 2011. – № 1 (28). – С. 10 – 13.
16. Вакуленко С.П. Интермодальные и мультимодальные перевозки в транспортных коридорах Европы и Азии / С.П. Вакуленко, П.В. Куренков // Железнодорожный транспорт. – 2016. –№ 6. – С. 73–77.
17. Куренков П.В. Логистический подход к управлению грузопотоками // Железнодорожный транспорт. – 1997. – № 3. – С.13-15.
18. Стеценко В.В., Куренков П.В. Коммерческое взаимодействие транспортных систем // Железнодорожный транспорт. – 1998. – № 10. – С.31-36.
19. Титова Т.С., Ахтямов Р.Г., Елизарьев А.Н., Елизарьева Е.Н. Подходы к обеспечению техносферной и экологической безопасности объектов транспорта. – Уфа: изд-во ГОУ ВПО "Уфимский государственный авиационный технический университет", 2017. – 72 с.
20. Титова Т.С. Система управления техносферной безопасностью / Т.С. Титова, Р.Г. Ахтямов. – Санкт-Петербург, 2017. – 23 с.
21. Титова Т.С. Методология комплексной оценки влияния новых технологий на геоэкологическую обстановку / Т.С. Титова // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2005. – № 5. – С. 2-5.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

- **Покровская Оксана Дмитриевна**
Санкт-Петербург, ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», профессор кафедры «Железнодорожные станции и узлы» доктор технических наук, доцент
insight1986@inbox.ru

УДК 001.895; 656.02; 656.2; 656.3

Охотников А.Л., Дзюба Ю.В., Цветков В.Я.

Цифровая трансформация в системах управления транспортными объектами

Введение

Существуют разные виды управления для транспортных объектов железнодорожной отрасли. К транспортным объектам относят как объекты недвижимые – пути, технические сооружения, логистические центры, грузовые и пассажирские станции и вокзалы, инженерные сети, склады, так и объекты движимые – железнодорожный подвижной состав – локомотивы, вагоны, моторвагонный подвижной состав и специальный железнодорожный подвижной состав. Для железнодорожного транспортного объекта (далее – ТО) характерны следующие особенности, отличающие его от обычного транспортного средства, которым необходимо управлять:

- объект перемещается в пространстве со значительной скоростью;
- для такого объекта обязательно непрерывное управление в пространстве;
- необходимо наличие постоянной связи между машинистом (оператором) и ТО.
- ситуация, в которой находится подвижный объект постоянно меняется и это надо принимать во внимание при выработке управляющих решений.

Управление транспортным средством осуществляется посредством информационной системы управления – это специальные технические средства передачи данных, управленческой информации и аппаратно-программный комплекс, обеспечивающий обработку входящих данных и информации от объекта управления – ТО.



Рис.1. Система управления транспортным объектом

При стандартном управлении, когда в кабине локомотива есть машинист, связь с ТО осуществляется

через органы управления и систему автоведения, которая осуществляет контроль за заданными параметрами движения и выполнением графика движения.

При управлении в беспилотном режиме, контроль за состоянием локомотива и его параметрами движения осуществляется также в постоянном режиме за счет полностью автоматической системы управления и оператором из дистанционного центра управления.

Цифровая система управления обеспечения безопасности движения поездов

Современная система управления транспортом должна включать в себя существующие и все последние достижения мировой науки и технологии, основанные на цифровизации и роботизации, применении квантовых технологий и киберфизических транспортных систем [1]. Существующей основой управления ТО являются технологии управления подвижными объектами [2] и многоцелевое управление подвижными объектами [3].

Применение новых прорывных решений в области управления позволит обеспечить безопасность и высокую скорость перевозок, внедрить технологии предиктивной диагностики состояния инфраструктуры и подвижного состава, управлять транспортными объектами (ТО) на основе беспилотных технологий [4], интернета вещей [5], big data [6], нейронных сетей, современных средств связи и технологий интеллектуального управления [7] движением поездов и др.

Цифровое пространство обеспечивает постоянный обмен информацией между объектами железнодорожной инфраструктуры и транспортными объектами. В недалеком будущем возможно создание единого организма киберфизической системы железнодорожного транспорта, работающего самостоятельно под управлением суперкомпьютеров и многослойных нейронных сетей, для обеспечения безопасных и интеллектуальных перевозок с точным соблюдением графика движения и высокоскоростным передвижением на всем пути следования. Важнейшими прикладными задачами построения цифровой системы управления являются:

- Повышение пропускной способности;
- Сокращение затрат на напольную инфраструктуру;
- Оптимизация графика движения и адаптивное планирование.

Новые технические решения в области интервального регулирования движением поездов позволят реализовать указанные задачи. Одно из таких решений — это переход от традиционных принципов интервального регулирования на основе светофорной сигнализации с фиксированными блок-участками (по рельсовым цепям) к бесцветной сигнализации с виртуальными блок-участками [8]. Такое решение реализуется как с помощью использования цифрового радиоканала, так и на базе рельсовых цепей (РЦ), построенных на использовании волоконно-оптических линий связи (ВОЛС). Применение системы рельсовых цепей на базе ВОЛС для передачи информации о состоянии РЦ и ее кодировании и позволяет снизить расходы на строительство и содержание систем автоблокировки, минимизировать влияние внешних факторов на действующие РЦ и тем самым повысить надежность и безопасность движения, организовать автоматизированный контроль и регулировку РЦ.

Для развития Промышленного Интернета Вещей (IIoT) перспективна технология однопарного Ethernet (SPE) – передача потоков данных на базе протоколов TCP/IP посредством всего одной пары проводов, которая открывает возможности для повсеместной цифровизации, т.е. непрерывного взаимодействия объектов транспортной инфраструктуры на базе IP, на уровне полевых устройств с поддержкой скорости до 1 Гбит/с для передачи данных на короткие расстояния и 10 Мбит/с для передачи информации на большие расстояния.

Цифровой локомотив как центр управления движением

В настоящее время применение бортовых локомотивных систем и комплексов является основой для системы управления движением поездов. Роль локомотива как центра управления может быть еще больше при использовании микропроцессорных бортовых систем, позволяющих самостоятельно принимать решения и прогнозировать обстановку в зависимости от информационной ситуации, которая складывается во время движения поезда.

При доработке инфраструктуры, стрелка может общаться посредством радиоканала («Интернета вещей») с бортом локомотива и управляющее решение может идти не из центра диспетчеризации, а напрямую с локомотива, что позволит исключить затраты на напольную инфраструктуру и дополнительное звено для принятия решений.

Уже сегодня есть решения, позволяющие проводить самодиагностику всех систем локомотива и анализ состояния инфраструктуры с помощью аппаратуры, находящихся на борту. Благодаря полученной информации, которую можно передавать в диспетчерский центр, возможно проанализировать и предсказать состояние бортовых систем и инфраструктурных объектов для проведения технического обслуживания по состоянию, что позволит вовремя реагировать на возможные дефекты и не допустить аварийные ситуации, а также увеличить срок между техническим обслуживанием, если того не требует текущее состояние систем [6].

Оперативная информация о состоянии пути может передаваться последующим поездам, которые смогут сформировать самостоятельно энергооптимальный график движения исходя из текущей ситуации. Благодаря возможности «общаться» между собой и точно определять координаты головы и хвоста состава, поезд смогут двигаться, не привязываясь к рельсовым цепям, а использовать принцип динамического управления движением, который включает в себя не только параметры скорости и расстояния между составами, а также анализ параметров тяговой энергетики, загрузки сети дорог, станций, инфраструктуры. Дальнейшее развитие интервального регулирования движения поездов за использованием принципов динамического управления. А результатом работы диспетчеров, благодаря применению искусственного интеллекта, будет создание иерархии динамически формируемых детальных планов эксплуатационной работы полигонов [9].

Цифровой локомотив позволит получать по цифровому каналу связи информацию с тяговой подстанции, которая находится по пути движения поезда, о ее параметрах, которые помогут рассчитать оптимальный режим движения поезда по участку исходя из загрузки участка. При наличии у подстанции стационарных источников электроэнергии для обеспечения тяги, локомотив может выдать команду на подключение таких источников дополнительно для обеспечения энергетической потребности в часы пиковой нагрузки, тем самым обеспечить заданный режим движения и повысить пропускную способность участка пути.

Создание единой интеллектуальной (цифровой) бортовой расширяемой системы управления и обеспечения безопасности позволит сделать шаг навстречу цифровому локомотиву с высокой степенью безопасности и возможностью принимать управляющие решения самостоятельно, а задачей диспетчерской централизации будет контроль таких решений и глобальное управление на полигонном уровне.

Основные функции цифрового локомотива:

- обеспечение требуемого уровня безопасности;
- автоведение поезда;
- автоматическое управление торможением;
- автоматическое построение графика движения;
- управление стрелками;
- сбор и обработка информации о системах поезда;
- прогнозирование состояния и движения поезда;
- обмен информацией между другими локомотивами;
- передача ответственной информации в диспетчерский центр и в облачное хранилище с высоким уровнем информационной и кибер- безопасности.

Цифровые технологии как инструмент для беспилотного управления

Беспилотное управление транспортным объектом применим к системам, использующим:

- непрерывную передачу данных,
- непрерывное наблюдение за движением объекта управления,
- определение его местоположения.

Для безопасного движения поезда без машиниста необходимы следующие условия и технологии [10]:

- бортовая система технического зрения;
- самообучаемые нейронные сети;
- высокоточное позиционирование поезда;
- бортовая электронная карта;
- безопасные и высокоскоростные каналы связи (сети LTE или 5G);
- дистанционный контроль оператором, для случаев аварийных ситуаций;
- интеллектуальная система управления движением;
- обеспечение кибербезопасности.

В современных беспилотных ТО используются модели на основе метода Байеса [11] и одновременного построения карт (Simultaneous Localization And Mapping – SLAM). Работа алгоритмов построена на комбинировании данных с сенсоров автомобиля и данных с цифровых карт. Компания Google Waymo применяет SLAM, методы обнаружения и отслеживания транспортных объектов (Detection And Tracking of Moving Objects – DATMO), которые и разработала. Для широкого применения Google опубликовала в открытом доступе библиотеку SLAM для использования любой компанией, которая занимается беспилотным управлением ТО [12].

В качестве операционной системы для создания беспилотных систем наибольшее распространение получила робототехническая среда Robot Operating

System (ROS) – это фреймворк, основанный на архитектуре графов, для разработки и использования алгоритмов моделирования, управления и визуализации робота [13]. Выделяют системы ROS1, которая тестируется только на Ubuntu, и ROS 2, тестируется и поддерживается на Ubuntu Xenial, OS X El Capitan, а также Windows 10. В современных системах беспилотного управления чаще всего используется операционная система Linux.

Для разработки эффективных беспилотных систем важно использование систем моделирования и симуляторов движения ТО.

Симулятор может включать в себя следующие компоненты:

- параметры объекта – модель ТО;
- динамические элементы – модель датчиков и сенсоров;
- статические элементы – модель окружающей среды;
- управление объектом;
- планировщик движения;
- обработка информации от датчиков определения препятствий.

Эти алгоритмы и операционные системы используются в том числе и для задач управления поездом без машиниста в железнодорожном транспорте.

Для применения и обучения нейронных сетей необходимо проводить как можно больше опытных съемок видеoinформации и данных от сенсорных датчиков, лидаров, радаров, которые трансформируются в датасеты (data set). Датасеты представляют собой файловую систему мейнфрейма, которая ориентирована на хранение записей. Эти наборы данных с уникальными именами объединяют множество записей в группы. Чем больше мы получаем датасетов, тем точнее и правильнее будут обучаться нейросети и соответственно определяться необходимые объекты инфраструктуры и препятствия на пути движения поезда. В настоящее время большинством компаний идет наработка большого количества датасетов, которые позволят решать задачи глубокого обучения (deep learning) и создать наиболее «умные» и качественные системы беспилотного управления.

К программному обеспечению (ПО) для беспилотных систем накладываются особые требования:

- поведение в режиме реального времени;
- абсолютная надежность служб системы;
- доступность служб системы.

Данные требования обеспечивают следующие механизмы безопасности ПО: гипервизор (например, PikeOS), сервисно-ориентированная архитектура, разделение приложений.

Заключение

Развитие транспорта требует развития методов управления. Одним из таких методов является беспилотное управление. С помощью применения современных технологий и средств цифровой индустрии при беспилотном движении возможно решение следующих задач для железнодорожной отрасли:

- Повышение безопасности и точности движения пассажирских и грузовых поездов;
- Повышение пропускной способности сортировочных станций за счет увеличения ритмичности работы маневровых локомотивов и снижения аварийности;
- Повышение безопасности и эффективности управления движением за счет оперативной диагностики верхнего строения пути и объектов инфраструктуры;
- Повышение эффективности использования инвестиционных ресурсов, направляемых на ремонт и реконструкцию железнодорожной инфраструктуры;
- Повышение эффективности эксплуатации подвижного состава;
- Снижение аварийности и смертности на объектах железнодорожной инфраструктуры (переезды, переходы и пути в населенных пунктах).

Литература:

1. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Киберфизические системы в управлении транспортом // Мир транспорта. – 2018. Т. 16. № 2 (75). – С. 138-145.
2. Tsvetkov V. Ya. Information Management of Mobile Object // European Journal of Economic Studies. 2012, №1(1). P. 40-44.
3. Tsvetkov V. Ya. Multipurpose Management// European Journal of Economic Studies. 2012. № 2 (2). p.140-143
4. Охотников А.Л., Попов П.А. Беспилотное управление локомотивом: вчера, сегодня и завтра // Автоматика, связь, информатика. 2019. № 8. С. 12-17.
5. Дешко И.П., Кряженков К.Г., Цветков В.Я. Устройства, модели и архитектуры Интернета вещей: Учебное пособие. – М.: МАКС Пресс, 2017. – 88 с.
6. Розенберг Е.Н., Озеров А.В., Лысиков М.Г., Ольшанский А.М. О переходе к предиктивному управлению транспортными системами с использованием Big Data // Техника железных дорог. 2018. №1(41), с.32- 37.

7. Кужелев П.Д. Интеллектуальное многоцелевое управление // Государственный советник. – 2014. – №4. – с65-68.
8. Щенников А.Н. Применение виртуальных блоков в управлении транспортом // Наука и технологии железных дорог. – 2019. – 1(9). – с.17 –26.
9. Розенберг И.Н., Матюхин В.Г., Шабунин А.Б., Уманский В.И. Цифровая трансформация управления перевозочным процессом // Автоматика, связь, информатика. 2019. № 7. С. 2-6.
10. Попов П.А. Беспилотные поезда: основные принципы работы // Железнодорожный транспорт. 2019. № 8. С. 36-38.
11. Охотников А.Л. «Вероятностное ситуационное управление на транспорте»// Наука и технологии железных дорог. 2019. – №2 (10). – с. 89-98.
12. Davies, Alex. Google's Lawsuit Against Uber Revolves Around Frickin' Lasers (англ.), WIRED.
13. Quigley M., Gerkey B., Conley K., Faust J., Foote T., Leibs J., Berger E., Wheeler R., Ng. A. ROS: an open-source Robot Operating System. // 2010.

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
- **Цветков Виктор Яковлевич**
Москва, АО «НИИАС», заместитель руководителя Центра стратегического анализа и развития, доктор технических наук, профессор
svj2@mail.ru



УДК 004.056.2

Глухарев М. Л., Соломатова М. Ф.

Применение расширенной объектно-ориентированной модели Харрисона – Руццо – Ульмана для разграничения доступа в информационных системах

В настоящее время наблюдается рост интереса к объектно-ориентированным базам данных и их применению в информационных системах. В частности, разработанная И. А. Микляевым [1] модель универсальной объектно-ориентированной базы данных (УОБД) имеет широкие перспективы применения в различных областях, включая информационные системы железнодорожного транспорта. Модель УОБД фактически является обобщением таких зарекомендовавших себя моделей, как модель «сущность-связь», реляционная, объектно-ориентированная (ОО), документоориентированная, графовая и др. Использование модели УОБД в бизнес-процессах позволяет обеспечить непрерывное функционирование информационной системы и оперативное решение возникающих сложных задач.

Создание защищенных информационных систем на основе УОБД невозможно без хорошо продуманной подсистемы разграничения доступа. Анализ современных реляционных и постреляционных систем управления базами данных (СУБД) показывает, что ни одна из них не обходится без некоторого набора базовых средств управления доступом, а в ряде случаев они составляют ядро подсистемы безопасности СУБД. Поддерживаются дискреционная и ролевая модели доступа, в качестве дополнительных – полномочные («меточные») модели безопасности [2].

Главный недостаток существующих СУБД в части подсистем управления доступом состоит в том, что реализации моделей доступа не в полной мере совместимы друг с другом. Это затрудняет построение защищенных распределенных БД. Кроме того, современные реализации подсистем управления доступом не универсальны, достаточно жестки и не всегда могут быть легко доработаны при появлении дополнительных требований к защите важной информации. В связи с вышесказанным имеет смысл постановка вопроса об универсализации модели разграничения доступа к данным в БД, которая являлась бы частью модели УОБД и при этом обобщала бы значительное число существующих решений для СУБД.

УОБД может быть представлена как система следующих множеств:

Ess – множество сущностей, каждая из которых описывает класс объектов с общими свойствами, поведением, семантикой;

P – множество параметров сущностей;

UE – множество экземпляров сущностей;

G – множество единиц информации, каждая из которых хранит отдельное значение характеристики экземпляра сущности.

В модели УОБД также присутствуют отношения перечисленных множеств.

$R_{EssP} \subset Ess \times P$ – отношение принадлежности параметра сущности;

$R_{EssUE} \subset Ess \times UE$ – отношение принадлежности экземпляра сущности, причем $\forall ue \in UE \exists ! ess : (ess, ue) \in R_{EssUE}$;

$R_{GUE} \subset G \times UE$ – отношение, описывающее связь единицы информации с экземпляром сущности;

$R_G \subset G \times G$ – отношение, описывающее связь между более сложными и более простыми единицами информации, причем g_i в каждом кортеже (g_i, g_j) является более сложной единицей информации, а g_j входит в ее состав и может состоять из других единиц информации или быть атомарной; при этом

$$\exists (g_i, g_j) \in R_G \rightarrow \forall k \neq i \nexists (g_k, g_j) \in R_G;$$

$R_{CharUE} \subset R_{GUE} \times R_{EssP}$ – характеристика экземпляра сущности, связывающая совокупность конкретных значений (единиц информации) с параметром сущности для каждого конкретного экземпляра.

Принципиальной особенностью УОБД является возможность хранить для одного экземпляра сущности более одного значения характеристики, что позволяет учитывать в БД историю изменения значения параметра, разные варианты написания фамилии и имени физического лица в различных странах пребывания и т. п. Кроме того, модель УОБД является вариантом модели с варьируемым числом параметров. Эти особенности делают ее совместимой с множеством традиционных типов моделей данных – реляционной, документной, объектно-ориентированной и др.

В БД поведенческого типа [3] параметрами сущностей могут быть не только атрибуты, но и:

- программные коды методов сущностей, при помощи которых выполняется вся работа с единицами информации;
- правила разграничения доступа к методам.
- Поэтому множество P целесообразно представить в виде объединения непересекающихся подмножеств атрибутов (Atr), методов ($Meth$) и матриц доступа (M). На последнем имеет смысл остановиться подробнее, так как именно с его помощью реализуется модель разграничения доступа.

Общепринятый для классических моделей доступа субъектно-объектный подход не в полной мере соответствует объектной парадигме [4]. Разграничение доступа на основе объектно-ориентированного подхода реализуется в объектно-ориентированной модели Харрисона–Руззо–Ульмана (ОО HRU), которая имеет следующие отличительные особенности.

1. Рассмотрение действий пользователей в системе с позиций объектно-объектного взаимодействия.

В УОБД поведенческого типа объектами доступа являются сущности или их отдельные экземпляры, а субъектами (фактически) – внешние по отношению к ним сущности и экземпляры сущностей, которые обращаются к методам объектов-сущностей либо объектов-экземпляров. Каждое физическое лицо в УОБД может быть представлено при помощи экземпляра служебной сущности «Пользователь», благодаря чему с технической точки зрения нет разницы, кто инициирует вызов метода: «живой» пользователь или экземпляр другой сущности.

Доступ субъектов к объектам в УОБД может быть описан в терминах взаимодействия экземпляров сущностей: субъектом доступа в общем случае является экземпляр сущности-инициатора доступа, передающий сообщение объекту доступа; объектом доступа является экземпляр сущности, который предоставляет услуги субъекту (экземпляру-инициатору) и реагирует на получение сообщения выполнением метода.

2. Принцип активного защищаемого объекта.

Традиционное понимание управления доступом состоит в том, что объект доступа представляется как пассивный элемент системы, над которым активный субъект выполняет некоторые действия при посредничестве специального компонента системы защиты – диспетчера доступа. Однако, согласно объектно-ориентированной парадигме, каждый экземпляр сущности УОБД является диспетчером доступа для самого себя: он либо разрешает внешним экземплярам сущностей вызывать свои методы, либо отказывает в возможности их вызова.

Для реализации этого принципа в модели ОО HRU применяется дополнительный параметр каждой сущности – локальная матрица доступа, в которой строки

соответствуют объектам-инициаторам доступа, столбцы – атрибутам или методам, а каждая ячейка для атрибута содержит множество типов разрешенного доступа, а для метода – двоичное значение, кодирующее разрешение на запуск этого метода. Такой подход имеет ряд ограничений: не предусмотрена установка явного запрета на доступ к атрибутам, не учитывается возможность сильной и слабой авторизации [3], не предусмотрена возможность указать дополнительные условия предоставления доступа.

Именно в этой связи нами предлагается расширенный вариант модели ОО HRU, в котором делается попытка обеспечить совместимость с имеющимися реализациями механизмов разграничения доступа в различных СУБД. При таком подходе матрицы доступа (элементы множества M , введенного выше) считаются разновидностью параметров сущностей.

Для экземпляра сущности ue матрица доступа $ue.m$ формально описывается следующим образом:

$$ue.m : UE \cup Ess \times ue.Meth \rightarrow Acs \times Acs \times \dots,$$

где $ue.Meth$ – множество методов экземпляра ue ,

Acs – множество условий доступа.

Выражение $Acs \times Acs \times \dots$ указывает на то, что одна ячейка матрицы может содержать одно и более условий.

Для сущности ess матрица доступа описывается аналогичным образом:

$$ess.m : UE \cup Ess \times ess.Meth \rightarrow Acs \times Acs \times \dots,$$

где $ess.Meth$ – множество статических методов сущности ess .

Конкретная ячейка матрицы доступа для экземпляра сущности имеет обозначение вида $ue.m[ue', meth]$ или $ue.m[ess', meth]$; для сущности ess – $ess.m[ue', meth]$ или $ess.m[ess', meth]$. В обоих случаях ue' – экземпляр, инициирующий доступ; ess' – сущность, инициирующая доступ из статического метода либо сущность, экземпляром которой является инициатор доступа.

Условие доступа представляет собой логическое выражение, значение которого принадлежит множеству статусов легитимности доступа $ST = \{0; 1; \dots; n-1\}$, где четный статус соответствует негативной авторизации (запрету доступа), нечетный – позитивной (разрешению доступа). Большой статус легитимности соответствует более сильной авторизации, меньший – более слабой. Сильная и слабая авторизация имеют значение при разрешении несоответствий между двумя и более условиями доступа, при которых один и тот же инициатор получает одновременно позитивную и негативную авторизацию доступа к методу: в случае такого конфликта выбор делается в пользу более сильной авторизации.

Рассмотрим несколько примеров.

1. $ST = \{0; 1\}$, где 0 соответствует запрету доступа, 1 – разрешению. Пусть для субъекта ue установлено

несколько условий доступа к методу *meth* защищаемого объекта, причем одна часть из них разрешает доступ (статус 1), другая – запрещает (статус 0). Решение принимается в пользу предоставления доступа, т. к. значение 1 означает не только позитивную, но и более сильную авторизацию, чем 0.

2. $ST = \{0; 1; 2\}$. Статусы 0 и 2 соответствуют запрету доступа, при этом 2 – сильная негативная авторизация. Фактически такой подход к разграничению доступа нашел применение в реляционных СУБД. По умолчанию устанавливается тип авторизации 0, который может быть «перекрыт» более сильной позитивной авторизацией (значение 1). Однако в случае конфликта статусов легитимности 1 и 2 решение принимается в пользу запрета доступа, т. к. тип 2 – самый сильный негативный тип авторизации.
3. $ST = \{0; 1; 2; 3\}$. В этом случае реализуется подход, применяемый в ОО СУБД Orion [3]. Самым сильным типом авторизации здесь является сильная позитивная авторизация (значение 3), которая «перекрывает» все остальные; сильная негативная авторизация (значение 2) не может «перекрыть» сильную позитивную, но «перекрывает» все типы слабой авторизации (значения 0 и 1); слабая позитивная авторизация (значение 1) «перекрывает» только слабую негативную (значение 0).

Теоретически возможна модель доступа, в которой $|ST| > 4$. Для УОБД принято решение предоставить администратору безопасности право добровольного выбора количества возможных статусов легитимности доступа.

Подчеркнем, что истинность условия доступа в общем случае зависит от текущего состояния данных в БД и вычислительной системы в целом. Благодаря этой особенности в расширенной модели ОО HRU реализуется контекстно-зависимое разграничение доступа – разграничение доступа, результат которого не известен заранее, так как зависит от ряда обстоятельств, меняющихся с течением времени.

Применение аппарата конечнозначной логики и условий контекстно-зависимого разграничения доступа придает расширенной модели ОО HRU гибкость и универсальность, благодаря чему подсистема управления доступом в БД может быть легко приведена в соответствие с требованиями предметной области.

Дальнейшая работа в рассматриваемой области исследований может быть направлена на детальное описание системы типовых условий контекстно-зависимой авторизации, разработку адаптированных под описанную модель разграничения доступа методов аудита в БД и предотвращения атак на БД.

Литература:

1. 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.
2. Исаева М.Ф., Глухарев М.Л., Ветлугин К.А. Реализация многоуровневой модели разграничения доступа в базах данных под управлением системы управления базами данных Microsoft SQL Server // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №3 (2017) <http://naukovedenie.ru/PDF/36TVN317.pdf> (доступ свободный).
3. Ahmad Baraani-Dastjerdi. Access Control in Object-Oriented Databases: A Theses Submitted in Fulfillment on the Requirements for the Award of the Degree Doctor of Philosophy. Department of Computer Science, 1996
4. Белим С. В., Белим С. Ю., Усов С.В. Объектно-ориентированная модификация модели безопасности HRU // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. 2010, В. 1. С.6 – 14.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Глухарев Михаил Леонидович**
Санкт-Петербург, ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», доцент кафедры «Информатика и информационная безопасность», кандидат технических наук
mlgluharev@yandex.ru
- **Соломатова Мария Феликсовна**
Санкт-Петербург, ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», старший преподаватель кафедры «Информатика и информационная безопасность»
isaeva.mf@gmail.com



УДК 656.078.89

Юдникова Е.С., Кислицин А.А.

Возможности развития железнодорожной инфраструктуры на основе формирования рынка частных перевозчиков и частной локомотивной тяги

Для развития железнодорожных перевозок актуально решение вопросов о возможности существования в России рынка частных перевозчиков и частной локомотивной тяги. В связи с этим возникает необходимость определения понятия частная железная дорога, анализа локальных проблем у существующих частных железнодорожных перевозчиков, решения проблем дефицита тяги из-за нехватки локомотивов.

Железнодорожные перевозки согласно ФЗ «О естественных монополиях» от 17.08.1995 №147-ФЗ относятся к естественным монополиям и должны контролироваться государством [1].

После вступления в силу ФЗ «О внесении изменения и дополнений в федеральный закон “О естественных монополиях” от 10 января 2003 года №16-ФЗ», в статью 4 №147-ФЗ был введён пункт о реализации решения Правительства РФ демополизации на рынке железнодорожных перевозок, способствующий переходу от регулирования деятельности субъектов естественных монополий в сфере железнодорожных перевозок к регулированию деятельности субъектов естественных монополий в сфере предоставления услуг по использованию инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования.

В период 2010-2011 гг. оперирование грузовыми перевозками было отдано частным компаниям-операторам подвижного состава, у ОАО «РЖД» остались железнодорожные пути, сопутствующая инфраструктура, погрузочно-разгрузочные операции на путях общего пользования и локомотивная тяга. ОАО «РЖД» является естественной монополией только в сфере предоставления услуг по использованию железнодорожных путей, железнодорожной инфраструктуры и только транспорта общего пользования.

Если для операторов железнодорожного подвижного состава, перевозчиков и владельцев железнодорожной инфраструктуры в статье 2 Федерального закона от 10.01.2003 N 17-ФЗ «О железнодорожном транспорте в Российской Федерации» существуют определения, то дефиниция «Частная железная дорога общего пользования» отсутствует [2].

С учетом приведенных в статье 2 ФЗ от 10.01.2003 №17-ФЗ «О железнодорожном транспорте в Российской Федерации» основных понятий можно сказать, что частная железная дорога общего пользования – это железнодорожный перевозчик, обладающий железнодорожными путями общего пользования, в том числе на ином пользовании, обеспечивающий как грузовые, так и пассажирские перевозки.

Необходимо уточнить, что понятия частный железнодорожный перевозчик и локальный перевозчик различаются. Локальный перевозчик – это перевозчик, получивший в порядке, установленном в соответствии с российским законодательством, право на публичной основе осуществлять на не принадлежащей ему инфраструктуре только грузовые перевозки в отдельных географических и товарных сегментах рынка.

В законодательстве четко определены обязанности железнодорожных перевозчиков, поэтому создание частных железнодорожных перевозчиков не только не запрещено законом, а поддерживается государством, особенно после появления различных компаний-операторов подвижного состава.

Для четкого понимания сущности термина «частная железная дорога» необходимо рассмотреть опыт развития данного типа железных дорог в других странах.

В американской и в европейской модели железных дорог изначально успешно функционировали частные железные дороги с собственной инфраструктурой и локомотивной тягой.

В США железнодорожная отрасль состоит из вертикально интегрированных частных железнодорожных компаний-перевозчиков, которые имеют в собственности инфраструктуру, вагоны и локомотивы и конкурируют друг с другом. Следует отметить, что железнодорожные перевозки в США состоят, в основном, из грузовых перевозок, в то время как пассажирские перевозки играют ограниченную роль по сравнению со схемами перевозок в других странах [3].

В Евросоюзе по законодательству железнодорожная сеть едина и по ней передвигаются конкурирующие друг с другом перевозчики с частными локомотивами и вагонами, не принадлежащими собственнику

инфраструктуры. Функционирование частных локомотивов совместимо как с моделью вертикального разделения, так и с моделью вертикально интегрированных компаний. Доля сторонних перевозчиков имеет значительные колебания по разным странам. Так, во Франции – 16,6%, в Польше – 30%, в Румынии – 50%, в Венгрии – 90%. В некоторых странах (в частности, в Великобритании, Дании, Голландии) все 100% перевозок осуществляются сторонними перевозчиками [8].

В Германии в 1993 г. правительство приняла решение о реструктуризации государственной компании «Deutsche Bundes Bahn» и в 1994 г. была создана акционерная компания под контролем государства «Deutsche Bahn AG» (далее – DB), которая впоследствии должна была стать частной [4].

После реформы любая компания, получившая лицензию, могла пользоваться инфраструктурой DB на схожих с DB условиях и тарифах. В 2017 г. в Германии было зарегистрировано 452 железнодорожных операторов подвижного состава, из них 20 межрегиональных. При этом холдинг DB понёс потери от возросшей конкуренции, но интересы национальной экономики правительством Германии были поставлены выше, чем интересы компании [4]. Данная реформа позволила появиться только операторам подвижного состава, в основном, дочерним компаниям больших производственных предприятий, приватизация железной дороги для пассажирских перевозок и создание альтернативных перевозчиков не проводились.

В Японии в 1987 г. было создано шесть частных железнодорожных компаний, и только одна грузовая, с длиной путей около 27182 км. Также появились 16 других компаний с длиной путей около 2871 км [4]. За пять лет пассажирооборот в Японии вырос на 20% и продолжает расти за счет роста прекращения низкорентабельных перевозок в малонаселённых участках страны, разрешения местным властям взять на себя обслуживание железных дорог в регионах, введение автоматизации перевозок и неизменности тарифов на перевозки.

Таким образом, существует два подхода в регулировании функционирования частных железных дорог: американская с отсутствием государственного регулирования и европейская система, где роль государства состоит в недопущении создания монополий на рынке. При этом клиенты железнодорожного транспорта – грузоотправители и грузополучатели сами выбирают перевозчика.

Характеристика систем железнодорожных перевозок в ведущих странах мира дана в табл.1.

Если не рассматривать дореволюционный опыт, то в России в 1992 г. была сделана первая попытка создания частной железной дороги ОАО «Золотое звено»

для строительства и эксплуатации со стороны России пограничного перехода Камышовая — Хуньчунь (Китай), завершённое в 1999 году. В 2004 г. погранпереход был закрыт из-за нерешённых проблем со связью, освещением и безопасностью. Компания в 2010 г. была объявлена банкротом. Летом 2011 г. в права владения инфраструктурой вступило ОАО «РЖД».

Таблица 1. Характеристика систем железнодорожных перевозок в мире [4]

Элементы железнодорожной системы	Типы компаний		
	Государственные предприятия	Подконтрольные государству компании	Частные компании
Инфраструктура	Аргентина, Индия, Китай, Россия	Германия, Франция, Австралия	Великобритания, США, Япония
Перевозки	Индия, Китай, Россия	Германия, Франция, Австралия	Великобритания, США, Япония
Вспомогательная деятельность	Индия, Китай	Аргентина, Австралия, Россия	Великобритания, США, Япония

В РФ можно выделить три группы компаний, которые учувствуют в грузовых железнодорожных перевозках (табл. 2) и только участников второй группы можно условно отнести к частным железнодорожным перевозчикам.

Таблица 2. Компании, участвующие в грузовых перевозках в РФ

Компании холдинга ОАО «Российские железные дороги»	Условно-независимые от ОАО «РЖД» операторы*	Компании, обладающие только подвижным составом
<p>16 филиалов-дорог со статусом регионального центра корпоративного управления. Компании с контрольным пакетом акций ОАО «РЖД»:</p> <ul style="list-style-type: none"> АО «Федеральная пассажирская компания»; АО «Федеральная грузовая компания»; ПАО «Трансконтейнер»; АО «РЖД Логистика»; АО «Объединенная транспортно-логистическая компания Евразийский железнодорожный альянс» 	<ul style="list-style-type: none"> АО «АК» «Железные дороги Якутии» АО «Ямальская железнодорожная компания» ОАО «Норильская горная компания» ФГУП ВО «Крымская железная дорога» ОАО «ГазпромТранс» 	<ul style="list-style-type: none"> АО «Первая грузовая компания» АО «НефтьТранс-Сервис» ООО «Трансойл» ГК «Globaltrans» ЗАО «Евросиб СПб-ТС» АО «Еврохим» АО «СибурТранс» ООО «ФосАгро-Транс» ГК «Максима» ГК «ТрансГарант» ООО ГК «Новотранс»

* владеют как железнодорожной инфраструктурой, в т.ч. находящейся в иной собственности, так и выполняющие функции перевозчика

Железнодорожные пути, принадлежащие указанным компаниям, находятся в удалённых районах России, а некоторые из них вовсе изолированы от федеральной сети РЖД. Указанные дороги используются

для локальных грузовых перевозок и иногда пассажирских перевозок, так как принадлежат сырьевым группам.

С учетом причин появления частных железнодорожных перевозчиков (табл.3) можно констатировать, что частными железными дорогами являются только АО «Акционерная компания «Железные дороги Якутии», ФГУП ВО «Крымская железная дорога», АО «Ямальская железнодорожная компания».

Таблица 3. Частные железные дороги в Российской Федерации

Наименование частной железной дороги	Причина создания компании	Относится компания к частной железной дороге общего пользования
АО «Акционерная компания «Железные дороги Якутии»	Сложные условия строительства Амуро-Якутской магистрали	Да
ОАО «Норильский никель» (Норильская железная дорога)	Обслуживание нужд Норильского металлургического комбината	Нет
ОАО «Газпром» (Железнодорожная линия Обская-Карская)	Обслуживание нужд газодобывающих предприятий	Нет
ФГУП ВО «Крымская железная дорога»	Невозможность включения в ОАО «РЖД»	Да
АО «Ямальская железнодорожная компания»	Неверная экономическая оценка эффективности от использования после завершения строительства	Да

Проблемы развития и функционирования частных железных дорог в России можно рассмотреть на примере лидера среди частных железнодорожных перевозчиков АО «Ямальская железнодорожная компания» (ЯЖДК), с участием которой будет происходить строительство и обслуживание Северного Широкого хода.

Акционерами компаний являются ОАО «Корпорация Развития», которой принадлежат 55% акций и ОАО «РЖД», имеющей 45% акций [5]. Общая длина путей составляет 424 км, из них главных путей – 313 км. Компания обслуживает 4 участка пути: Коротчаево – Новый Уренгой, длиной 74 км, Новый Уренгой – Пангоды, длиной 114 км, Новый Уренгой – Ево-Яха, длиной 11 км и Пангоды – Надым-Пристань, длиной 114 км [5].

За годы работы ЯЖДК добилась значительного улучшения состояния пути на всех железнодорожных участках. За пятнадцать лет перевезено более 55 миллионов тонн грузов, организована доставка грузов для

строительства автодорог и мостовых переходов на участке Новый Уренгой – Надым – Салехард. Со станций Новый Уренгой и Коротчаево уходят пассажирские поезда РЖД на Москву, Новосибирск, Челябинск, Оренбург, Казань, Екатеринбург, Омск, Уфу и другие направления. Отправлено более 5 млн. пассажиров. В Новом Уренгое был открыт современный многофункциональный вокзал, который передан Правительством ЯНАО в доверительное управление компании.

Компания содержит железнодорожную инфраструктуру в исправном состоянии, расширяет её пропускные мощности. Например, во введенном в эксплуатацию разъезде Тыдыл применена безлюдная технология управления устройствами, значительно увеличена пропускная способность участка Коротчаево – Новый Уренгой. Введены в эксплуатацию административно-бытовые здания на станциях Фарафонтьевская и Новый Уренгой. Построены вахтовые комплексы на станциях Ягельная, Новый Уренгой и многое другое.

Основной номенклатурой груза, предъявляемой для выгрузки, является щебень (38,8%) и трубы стальные (18,7%), которые используются для строительства и обслуживания газодобывающих предприятий. В табл.4 приведены показатели движения на станциях полигона АО «ЯЖДК» за период с 2017 г. по 2018 г.

Таблица 4. Сравнение показателей движения на станциях полигона АО «ЯЖДК» за период с 2017 по 2018 гг. [7]

Наименование показателя	Ед. изм.	12 мес. 2017 г.	12 мес. 2018 г.
1. Участковая скорость движения грузового поезда по АО «ЯЖДК»	км / час	22,0	22,3
	ваг.	34638,5	33726
		ваг. / сут.	94,9
2. Общая погрузка грузов	тонн / сут.	5639,3	5491,4
	всего	201,1	189,3
3. Приём вагонов среднесуточно	груженых	115,4	105,7
	вагон / сут.	518,6	367,6
4. Наличие местного груза	тонн	2679,4	2508,9
5. Средний вес поезда брутто (Коротчаево-Новый Уренгой)	тыс. т км	207463,9	185931,0
	тыс. т км /сут.	568,4	509,4
6. Грузооборот эксплуатационный	сут.	6,6	6,2
7. Оборот грузового вагона	т/ваг.	58,8	59,4
8. Статическая нагрузка			

По данным таблицы 4 видно, что в 2018 г. по сравнению с 2017 г. участковая скорость выросла на 0,3 км/ч (2%), оборот вагона снизился на 0,4 суток (7%), средняя статическая нагрузка выросла на 0,6 т/ваг (1%). Остальные показатели ухудшились в связи со сниже-

нием объёмов погрузки и выгрузки, что негативно отразилось на прибыли компании (табл. 5) [7].

Таблица 5. Прибыль компании за период 2017–2018 гг. (без НДС тыс. руб.)

Вид дохода	2017 год	2018 год
Грузовые перевозки	1 717 867	1 674 826
Пассажирские перевозки в дальнем следовании	19 935	19 217
Услуги грузового двора	6 153	4 438
Услуги контейнерной площадки	4 985	3 740
Услуги на сторону	398 209	388 593
Доходы за агентское вознаграждение	4 306	4 312
Итого	2 151 455	2 095 126

Прибыль за 2018 г. относительно 2017 г. незначительно снизилась на 3% (56 329 тыс. руб.), что связано со снижением прибыли от грузовых перевозок на 43 041 тыс. руб. (2,5%). Наибольшее снижение в процентном соотношении произошло в услугах грузового двора 1 715 тыс. руб. (28%), однако данная статья доходов не является ключевой.

На данный момент в АО «ЯЖДК» существует ряд проблем, характерных для небольших локальных железнодорожных перевозчиков. Среди них убыточность вокзала г.Новый Уренгой, затраты, связанные с несвоевременностью доставки информации по отцепкам вагонов, нехватка локомотивов.

На железнодорожных линиях РФ работают 14,9 тысяч магистральных локомотивов, в том числе 11,8 тыс. локомотивов с грузовыми поездами, из них 170 частных магистральных локомотивов, около 1,4% от общей доли локомотивов. Численность маневровых локомотивов – 16 тыс. ед., ОАО «РЖД» принадлежат только 5,9 тыс. ед. (37%), остальные 10 тыс. ед. (63%) принадлежат собственникам путей необщего пользования и промышленным предприятиям [7].

Средний износ инвентарного тягового парка ОАО «РЖД» в 2018 г. составил 66% от общего количества локомотивов. В ремонте нуждаются 15,5 тыс. локомотивов. За период с 2018 по 2025 гг. необходимо приобрести до 7 тыс. новых машин на замену выработавшим свой ресурс локомотивам. Средний возраст тепловозного парка, состоящего из поездных и маневровых локомотивов, по сети составляет 25,5 лет при нормативном сроке полезного использования 18 лет, а для электровозов – средний возраст парка по сети составляет 25 лет при нормативном сроке 28 лет [8].

При этом инвестиции ОАО «РЖД» локомотивную тягу сокращаются, в 2013 году было вложено 92,5 млрд. руб. а в 2017 г. меньше на 37% (58,8 млрд. руб.). Проблема могла быть решена на основе увеличения закупок в лизинг или привлечения частного капитала [9].

Добиться повышения конкурентоспособности железнодорожного транспорта и привлечения частных инвестиций невозможно без продолжения реформирования, направленного на демонополизацию и либерализацию отрасли.

В «Программе структурной реформы на железнодорожном транспорте РФ», утвержденной постановлением Правительства РФ № 384 от 18.05.2001 г., на втором этапе реформы предусматривалось создание организационно-правовых условий для увеличения доли парка магистральных локомотивов, находящихся в частной собственности [10].

На третьем этапе реформирования железнодорожного транспорта предусматривалось развитие частной собственности на магистральные локомотивы, создание условий и стимулов для дальнейшего развития частной собственности на подвижной состав. Предполагалось, что на данном этапе реформирования большая часть вагонного парка и часть локомотивного парка будет находиться в частной собственности. Однако произошло только развитие частного рынка подвижного состава, рынок локомотивной тяги почти не изменился.

В целом, кардинальным решением проблемы может послужить преобразование системы грузовых тарифов с разделением на две основные составляющие: базовую инфраструктурную и локомотивную. Тарифные коэффициенты, относящиеся к родам грузов, должны начисляться только на инфраструктурную составляющую, а локомотивная — устанавливаться в едином среднем размере, независимо от их наименования и класса. Суммарная провозная плата с локомотивной составляющей применяется только при тарификации перевозок тягой ОАО «РЖД».

Необходим дифференцированный подход к установлению инфраструктурного тарифа для сетевого перевозчика и частного перевозчика.

Заключение

Реформа в области железнодорожных перевозок, начатая в 2001 году без конкуренции перевозчиков, без частных магистральных локомотивов, остается незавершенной. Демонополизация должна обеспечить возможность выбора между услугами нескольких перевозчиков. Сегодня грузоотправители и потребители транспортных услуг в сфере грузовых перевозок не имеют возможности выбора перевозчика, имеют выбор только среди операторов подвижного состава.

Литература:

1. Федеральный закон «О естественных монополиях» от 17.08.1995 N 147-ФЗ (ред. от 27.07.2017 г.) [Электронный ресурс] – М.,1995 – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_7578/
2. Федеральный закон «О железнодорожном транспорте в Российской Федерации» от 10.01.2003 N 17-ФЗ (ред. от 03.08.2018 г.) [Электронный ресурс]. – М., 2003 – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_40443/
3. Сарычев В.Г. Экономическая история США / В. Г. Сарычев – СПб.: Тесса, 2002. – С. 271.
4. Голомзина А. Н. Положение железнодорожного транспорта в социально-экономической системе и перспективы реформирования рынков железнодорожных перевозок в странах ЕС, и в некоторых странах ОЭСР и СНГ / А. Н. Голомзина // Бюллетень транспортной информации №12 (234), 2014 – 31 с.
5. История создания АО «ЯЖДК» [Электронный ресурс]. (1 файл). – Новый Уренгой.,2015 – URL: <https://ygw.ru/history.html>
6. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 8 августа 2018 года №1663-р «О реализации механизма частной концессионной инициативы в федеральных проектах в сфере транспорта на основе концессионного соглашения с ООО «СШХ» («Северный широтный ход»)» [Электронный ресурс]. – М., 2015 – URL: <http://m.government.ru/all/21308/>
7. Институт исследования проблем железнодорожного транспорта [Электронный ресурс]. – М., 2018 - URL: <http://iizd.ru/o-sostoyanii-lokomotivnogo-parka-oao-rossijskie-zheleznye-dorogi/>
8. Институт исследования проблем железнодорожного транспорта [Электронный ресурс]. – М., 2018 - URL: <http://iizd.ru/o-sostoyanii-lokomotivnogo-parka-oao-rossijskie-zheleznye-dorogi/>
9. РЖД Партнёр [Электронный ресурс]. – М., 2017 – URL: <https://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/promyshlennye-lokomotivy>
10. Постановление Правительства Российской Федерации от 18 мая 2011г. №384 «О Программе структурной реформы на железнодорожном транспорте» [Электронный ресурс]. – М.,2001 – URL: <https://base.garant.ru/183354/>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Юдникова Елена Сергеевна**
Санкт-Петербург, ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», профессор кафедры «Логистика и коммерческая работа», доктор экономических наук
elena.judnikova@yandex.ru
- **Кислицын Анатолий Александрович**
Санкт-Петербург, ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», магистрант кафедры «Логистика и коммерческая работа»
elena.judnikova@yandex.ru



УДК 656.073.2:681.51

Малышев Н.В., Коровяковский Е.К.

Перспективы безлюдных технологий на контейнерных терминалах**Введение**

С ростом контейнеризации на тыловых терминалах, связывающих морские и сухопутные перевозки, увеличиваются объемы переработки. Принимая за основу сохранение среднегодового темпа роста контейнеризации и ожидаемые средние темпы роста внутреннего валового продукта России в 1,5–2%, можно спрогнозировать средние темпы роста контейнерного

рынка на уровне 7–8% в год. По оценкам ПАО «Транс-контейнер» доля контейнеропригодных грузов, перевозимых в контейнерах по сети ОАО «РЖД», выросла с 6,6% в 2017 г. до 7,2% в 2018 г. Рынок увеличился с 2.3 миллионов TEU (twenty-foot equivalent unit) в 2010 году до 4.4 миллионов TEU в 2018 году[1]. Несмотря на рост, уровень контейнеризации на железных дорогах России незначителен по сравнению с 40% в Европей-

ском Союзе[2]. А значит, без создания необходимой инфраструктуры и новых транспортных продуктов, позитивная динамика в ближайшей прогнозируемой перспективе остановится. В ряде концепций и нормативных документов ОАО «РЖД» и Правительство Российской Федерации [3-6] решительным образом изменяет отношение к внедрению инновационных проектов в терминально-складском комплексе.

Предпосылки внедрения безлюдных технологий в России

Стоимость внедрения и эксплуатации технологии роботизации на контейнерных терминалах крайне велика, однако существуют экономические причины для изменения ситуации. Во-первых среднемесячные затраты на работника железнодорожного транспорта растут: в 2005 году с учётом инфляции было 34 797,9 рублей, в 2017 году по данным исследования уже 53 005,1 рублей[7].

Во-вторых, средняя стоимость промышленных роботов снижается с 3,2 млн. рублей в 2012 году до 2,6 млн. рублей в 2017 году, что заставляет компании вкладывать всё больше финансовых средств в исследование безлюдных технологий, данные по динамике продаж промышленных роботов представлены на графике 1 [8].

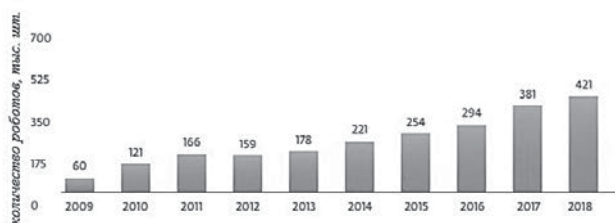


График 1. Динамика продаж промышленных роботов

В третьих на российских железных дорогах существует значительный потенциал увеличения объемов контейнерных перевозок; прогнозируемый темп роста спроса на услуги на российском рынке контейнерных перевозок будет превышать среднемировой показатель в среднем в 1,5 раза [5]. Рост перевалки контейнеров в морских портах будет способствовать концентрации грузопотоков и более массовому развитию технологии ускоренных контейнерных поездов. В силу особенностей российской географии и размеров нашей страны транзитные перевозки и конкретно ускоренные контейнерные поезда, как услуга будет и далее развиваться и не только на Транссибирской магистрали.

Достаточно отметить, что в развитых странах до 98 % грузов в таре перевозятся с использованием контейнеров, а для нетарированных грузов эта доля снижается до 70%. В Российской Федерации этот показа-

тель составляет 10%, при этом попытки увеличения этого объема упираются в недостатки инфраструктурного развития.

С точки зрения технологии применяемой на терминалах, условия работы операторов погрузо-разгрузочной техники усугубляет большой информационный поток, приводящий к эмоциональной перегрузке. Для работа такая среда идеальна при наличии необходимой и достаточной информации, техника выполняет работу максимально быстро, по самым коротким маршрутам и без ошибок. Для исключения человека была придумана система кран – горизонтальный транспорт – кран, работающая автоматически.

Технологические процессы, связанные только с перемещением контейнера отличаются однотипностью (захват – перенос – установка), одинаковым перемещаемым объектом – контейнером, достаточно строгой организацией технологического процесса и сравнительно низкой требуемой точностью укладки контейнера. Эти особенности существенно облегчают задачу роботизации, позволяя широко применять относительно простых роботов со сравнительно невысокой маневренностью и точностью позиционирования.

Одной из первых попыток полностью исключить человека, стал проект «Moorebank Logistics Park» реализует австралийская логистическая компания «Qube», основным поставщиком оборудования выступил производитель погрузо-разгрузочной техники «Kalmar». Терминал будет состоять из четырёх автоматизированных железнодорожных порталных кранов, восьми автоматизированных железнодорожных козловых кранов, восьми гибридных порталных кранов на пневмоходу и системы управления терминалом «N4 Navis». Предполагается, что проект будет работать на электричестве, получаемом от солнечных батарей, расположенных на территории терминала.

Организация работы в условиях безлюдных технологий

По планировке железнодорожные контейнерные терминалы традиционно делятся на 4 типа, 5 основных участков: крытый перегрузочный склад, железнодорожный грузовой фронт, автомобильный грузовой фронт, зона хранения контейнеров, участок прямой перегрузки [9]. (рисунок 1)

С учётом стоимости технологии рассматривается две концепции для терминала со средним размером и большим контейнеропотоком. В обоих вариантах основой являются железнодорожные пути с роботизированными козловыми кранами для обработки автомобильного и железнодорожного транспорта. Для большей надёжности и безопасности наиболее эффективна работа в полуавтоматическом режиме, при кон-

троле или дистанционном управлении операторами на удаленных рабочих станциях.

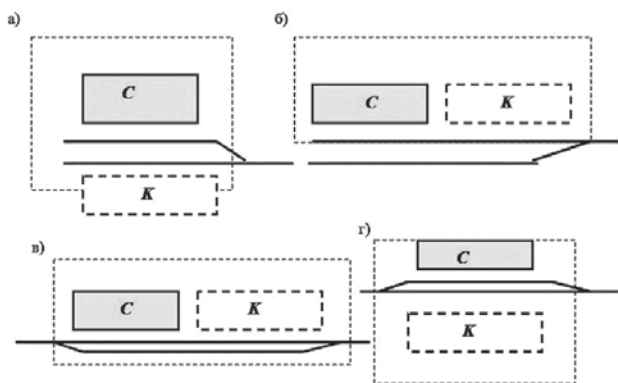


Рис.1. Схемы планировок контейнерных терминалов: тупиковые поперечная (а) и продольная (б), проходные продольная (в) и поперечная (г); С – крытые склады, К – контейнерные площадки.

Первая система с применением роботизированных порталных погрузчиков подходит для средних по размеру терминалов, где важна высокая гибкость технологии и доступность к штабелям с контейнерами. Портальные погрузчики независимы от другой техники и способны выполнить все транспортно-складские работы. Сочетание роботизированного козлового крана и роботизированного порталного погрузчика предлагает множество преимуществ:

- быстрый горизонтальный транспорт вдоль путей, не зависящий от движения крана;
- предварительная сортировка в штабеле контейнеров рядом с поездом;
- порталные погрузчики экономят капитальные затраты, исключая козловые краны в зоне хранения;
- возможность быстро изменить схему (планировку) терминала под требования технологии переработки, поскольку порталные погрузчики перераспределяются между участками.

Вторая система дополняется роботизированными тележками AGV (automated guided vehicle) и пневмоколесными козловыми кранами RTG (Rubber Tired Gantry Cranes), оптимален для крупных терминалов – хабов, где необходим быстрый обмен контейнеров между поездами или поездом и зоной хранения. Места с контейнерами для AGV рядом с железнодорожными путями также используются для буферизации и предварительной сортировки контейнеров для отходящих поездов. RTG в этом варианте укладывает контейнеры, взятые с AGV и автомобилей в длинные блоки. Применение такой системы даёт следующие преимущества:

- простота роботизации;
- более высокая плотность складирования контейнеров, за счёт отсутствия полос для движения погрузчика и возможности штабелирования в большее количество ярусов;

- RTG и AGV более надежны и имеют более длительный срок эксплуатации, чем порталный погрузчик;
- относительно простые конструкции и небольшие затраты на техническое обслуживание;
- при необходимости значительных перемещений внутри терминала, AGV более эффективны, так как быстрее и менее дорогостоящие, чем порталные погрузчики.

При этом использование рельсовых козловых кранов в России более предпочтительно, из-за более простой роботизации при сопоставимых капитальных вложениях. Серьёзный недостаток системы две передачи контейнера, так как для перемещения и погрузо-разгрузочных работ на грузовом фронте и в зоне хранения применяется разное оборудование.

Отдельно от этих систем можно рассмотреть автоматические погрузчики ALV (Automated Lifting Vehicles) способные транспортировать и укладывать в штабеля контейнеры, а также обрабатывать как автомобильный, так и железнодорожный транспорт. ALV применяется на терминалах, где отсутствуют краны для работы в штабеле. Автоматизированные погрузчики позволяют при более высокой скорости движения выполнять работу порталного погрузчика. В случае необходимости перераспределения техники, автоматические погрузчики, возможно, передать на другой терминал или использовать на других участках терминала. Также, автоматические погрузчики могут применяться при непредвиденном увеличении контейнеропотока в качестве дополнительной транспортно-перегрузочной техники.

Однако значительная стоимость за единицу, при невозможности обрабатывать большие объемы контейнеропотока, а также сложность построения технологии, как перегрузки, так и транспортировании контейнеров внутри терминала, делает применение техники нецелесообразной. При необходимости большого объема перемещений внутри терминала наиболее логично является использование AGV.

Проблемы роботизации в России

Основные места концентрации контейнеропотока – морские российские порты, не обрабатывают достаточные объемы и появление контейнеровозов сверхбольшого тоннажа, в них еще долго не предвидится, что делает внедрение высокопроизводительных систем в ближайшие годы неперспективным. В России кроме большого количества высококвалифицированных специалистов в транспортной отрасли, почти на всех железнодорожных контейнерных терминалах существует третья ночная смена, отсутствие которой на западноевропейских и североамериканских мультимодальных терминалах и делает экономически выгодным исполь-

зование роботизации. Кроме того, в мире на данный момент отсутствует действующие полностью роботизированные железнодорожные контейнерные терминалы, а любая новая технология, связана с рисками и длительным периодом отладки, что в тяжелых экономических условиях России не привлекает инвесторов. Если же инвестиции удастся привлечь, что бы их вернуть, операционные расходы автоматизированного терминала должны быть на 25% ниже, чем у обычного или производительность должна увеличиться на 30%, а операционные расходы снизиться на 10% [10].

Заключение

Таким образом, внедрение безлюдных технологий – сложный процесс, связанный не только с детальным проектированием и технологическими вопросами, но и с решением социальных проблем общества. [11] До сих пор остаются не решенными вопросы выбора оптимального маршрута роботом в условия неопределенности [12]. С другой стороны, использование роботов стабилизирует техпроцесс, увеличивается грузоподъемность, точность и быстродействие. К тому же отсутствие человека в рабочей зоне избавляет его от нахождения во вредной среде.

На тыловых терминалах подъемное оборудование находится в центре процесса – любой сбой оказывает непосредственное негативное влияние на контейнерные перевозки в терминале. Простои, которые нередко происходят во время погрузки контейнеров на платформу или их выгрузки, особенно невыгодны на тыловом терминале. Интеллектуальные алгоритмы, которые могут предсказать поведение оборудования или позволяют предотвратить ошибки в его работе, имеют огромный потенциал, и позволяют поднять производительность контейнерного терминала на абсолютно другой, качественно лучший уровень. При этом роботизацию необходимо рассматривать не как самоцель, а как средство оптимизации работы терминала и снижения затрат.

В целом, процесс роботизации железнодорожных контейнерных терминалов только начался. На данный момент количество контейнерных терминалов с применением роботизации не превышают нескольких десятков.

Литература:

1. Годовой отчет ПАО «ТрансКонтейнер» за 2018 год. – М.: ПАО «ТрансКонтейнер», 2019 – 256 с.
2. Railway role in intermodality and the digitalization of transport documents 2017 / United Nations Economic Commission for Europe – Geneva – 2018 – P. 75.
3. Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2018 г. № 204.
4. Концепция комплексного развития контейнерного бизнеса в холдинге «РЖД». – М.: ОАО «РЖД», 2012 – 71 с.
5. Концепция создания терминально-логистических центров на территории Российской Федерации – М.: ОАО «РЖД», 2012 – 79 с.
6. Концепция развития транспортно-логистического бизнеса холдинга «РЖД» – М.: ОАО «РЖД», 2013 – 85 с.
7. Труд и занятость в России. 2017: Стат.сб./Росстат–Т78 М., 2017. – 261 с.
8. Representing the global robotics industry, International Federation of Robotics – 2018 – 28 с.
9. Арефьев И.Б. Анализ и моделирование транспортных узлов: монография. / Арефьев И.Б., Коровяковский Е.К. -М.: ЮПИ, 2018 – 228 с.
10. Fox Chu, The future of automated ports [Electronic resource] / Fox Chu, Sven Gailus, Lisa Liu, Liumin Ni // McKinsey & Company. – 2018. – Режим доступа: <https://www.mckinsey.com/industries/travel-transport-and-logistics/our-insights/the-future-of-automated-ports>. – Загл. с экрана.
11. Малышев Н.В. Дополненная реальность на складе: возможности и проблемы/ Малышев Н.В., Коровяковский Е.К. // Транспорт: проблемы, идеи, перспективы – 2018 – С. 53 – 56.
12. Коровяковский Е.К. Выбор маршрута транспортных средств в условиях неопределённости / Коровяковский Е.К., Бадецкий А.П. // Транспорт России: проблемы и перспективы – 2016 – 2016 – С. 280 – 284.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Малышев Николай Валерьевич**
Санкт-Петербург, ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», аспирант кафедры «Логистика и коммерческая работа»
kol.spb@mail.ru
- **Коровяковский Евгений Константинович**
Санкт-Петербург, ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», и.о. заведующего кафедрой «Логистика и коммерческая работа» кандидат технических наук, доцент
kol.pgups@mail.ru



УДК 004

Безродный Б.Ф., Любимова Л.В.

Особенности анализа кибербезопасности АСУ ТП на железнодорожном транспорте

Согласно общепризнанной трактовке кибератака - это попытка дестабилизации штатного функционирования АСУ ТП с применением вычислительных средств, программного обеспечения и каналов передачи (мест хранения) данных. К сожалению она пока не нашла отражения в государственных стандартах и нормативных актах РФ. В свою очередь киберзащищенность микропроцессорных систем управления (МПСУ) – способность системы управления успешно выполнять предусмотренные задачи при сохранении безопасного состояния в условиях кибератак и функциональных отказов, направленных на нанесение ущерба критически важным (государственный уровень) или потенциально опасным (отраслевой уровень) объектам.

В качестве возможных объектов кибератак на железнодорожном транспорте рассматриваются:

- Комплексные системы интервального регулирования движения поездов на основе использования радиосвязи;
- Бортовые интеллектуальные системы безопасности локомотива;
- Комплексные системы контроля и управления движением, включающие бортовые системы локомотива;
- Системы радиосвязи и радионавигации, обеспечивающие гарантированное перекрытие;
- Микропроцессорные системы железнодорожной автоматики и телемеханики, электроснабжения;
- Системы автоматизации сортировочного процесса;
- Технологические каналы связи и информационно-коммуникационные сети.

Обеспечение безопасности движения зависит от множества факторов, к которым можно отнести качество технологических процессов организации движения; качество аппаратуры; качество схемных решений; техническое содержание; состояние объектов инфраструктуры (локомотив, вагон, путь, энергоснабжение, сети связи, аппаратура РС); возраст устройств; соблюдение участниками ПТЭ и инструкций; силовые воздействия (гроза); вандализм; недостаточная автоматизация.

Исторически сложилось, что для иллюстрации вопросов киберзащищенности автоматизированных систем управления технологическими процессами (далее – АСУ ТП) используется диаграмма, состоящая из трех кругов. Первый из кругов обозначает множество нарушений функциональной безопасности (ФБ) АСУ ТП или требований, предъявляемых к ней действующими нормативными документами. Второй иллюстрирует события нарушений информационной безопасности (ИБ) или требований, предъявляемых действующей нормативной базой к ее обеспечению. И, наконец, третий круг описывает физическую безопасность, то есть случаи нарушения режима ограничения доступа (ОД) к техническим, программным и информационным ресурсам АСУ ТП.



Рис.1.

Суть диаграммы заключается в том, что пересечение этих трех множеств (рис. 1) декларируется как предмет кибербезопасности, то есть составляет множество ее нарушений. Рассмотрим правомерность такого подхода.

Функциональная безопасность непосредственно связана с работой как АСУ ТП в целом, так и каждого из ее элементов. Ее нарушения приводят к отказам конкретных исполнительных механизмов и устройств,

например технических средств железнодорожной автоматики и телемеханики (стрелок, светофоров, генераторов и приемников рельсовых цепей и др.).

При нарушении информационной безопасности предметом рассмотрения являются процессоры, программное обеспечение (ПО), массивы данных и каналы их передачи (сети). В этом случае в основном происходит изъятие информации и реже – ее искажение за счет некорректной обработки данных с помощью ПО процессора.

Что касается физической безопасности, то здесь речь идет об обеспечении штатных условий работы АСУ ТП, в первую очередь за счет регулирования доступа к ее техническим, программным и информационным ресурсам. На практике это выражается в ограничении и контроле доступа различных должностных и иных лиц в конкретное помещение с узлами и агрегатами системы (релейные помещения, узлы связи, аппаратные и др.). Здесь основную роль играют кодовые запирающие устройства, системы видеонаблюдения, а также регламент администрирования доступа персонала к автоматизированным рабочим местам с использованием аппаратных и программных ключей и паролей.

Следует отметить, что события, описывающие нарушения функциональной, информационной и физической безопасности, имеют абсолютно разную природу, причины, средства и проявления, в связи с чем говорить о пересечении указанных множеств неправомерно.

С учетом сказанного для преодоления первой по счету методологической ошибки предлагается использовать более адекватную трехмерную модель (рис. 2), при которой любая компьютерная атака схематично представляет собой трехмерную точку в предложенной системе координат. При таком походе на каждой из осей формируется множество одного из видов нарушений безопасности, соответствующее первому, второму или третьему кругу исходной диаграммы (см. рис. 1). При этом область нарушений кибербезопасности АСУ ТП, то есть событий дестабилизации штатного алгоритма ее работы по причине кибератак, представляет собой подмножество декартова произведения трех сформированных по осям множеств, наряду с другим подмножеством, описывающим информационные компьютерные атаки.

Каждая трехмерная точка этого подмножества, схематично описывающая конкретную кибератаку, имеет три составляющие, интерпретирующие нарушения функциональной, информационной и физической безопасности. В соответствии с такой моделью описание событий нештатного функционирования АСУ ТП представляет собой последовательность (кортеж) из трех указанных составляющих, что вполне соответствует реальности.

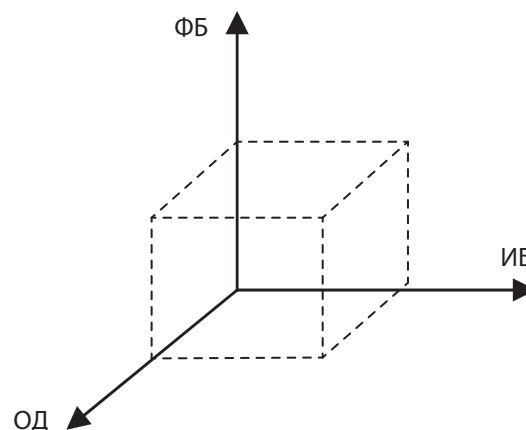


Рис 2.

При дальнейшем рассмотрении предлагается опустить составляющую кортежа, описывающую нарушение физической безопасности, поскольку она фактически только ограничивает возможности внешнего нарушителя. Другими словами, следствием ее нарушения может быть лишь приобретение внешним нарушителем возможностей и привилегий внутреннего. Однако это кардинальным образом не сказывается на порядке следования, а также взаимодействии и взаимозависимости оставшихся двух составляющих, путаница в рассмотрении которых является сутью второй часто допускаемой методологической ошибки. Остановимся на ней подробнее.

Если мы имеем дело с нарушением информационной безопасности (с традиционной информационной компьютерной атакой на программно-аппаратные и информационные ресурсы АСУ ТП), то целью является завладение циркулирующими в ней данными и служебной информацией или их искажение. Это достигается путем нарушения функциональной безопасности, то есть за счет использования различного рода «некорректностей» в алгоритмах работы АСУ ТП, в организации обработки запросов и посылок, а также иных входных данных и др. Другими словами, в этом случае нарушение ФБ является причиной или средством, а нарушение ИБ – следствием или целью такой атаки.

Иной порядок причинноследственной связи полей кортежа мы наблюдаем при кибератаке на АСУ ТП в целях дестабилизации ее штатного функционирования. В этом случае причиной или средством является нарушение уже ИБ, поскольку за счет некорректностей в программном коде и алгоритмах, а также избыточности или нестыковок форматов данных реализуется попытка нарушить штатные режимы работы исполнительных устройств АСУ ТП. Тем самым злоумышленники пытаются добиться нарушения ФБ как следствия и цели кибератаки.

Обоснованные ранее различия порядка следования двух основных полей кортежа, описывающего со-

бытия воздействия на АСУ ТП при информационной компьютерной атаке (с целью извлечения или порчи данных) и кибератаке (с целью дестабилизации функционирования атакуемой системы), позволяют сделать вывод о том, что эти взаимосвязанные процессы существуют параллельно и не доминируют один над другим. Более того, механизмы воздействия на циркулирующие в АСУ ТП данные в обоих случаях различны. Следует отметить, что результат кибератаки и ущерб от нее в первую очередь зависят от эффективности средств достижения ФБ автоматизированной системы управления технологическими процессами, заложенных в ее конструкции и схемотехнических решениях, а также в применяемой электронной компонентной базе, а уже во вторую – от средств обеспечения ИБ.

Именно недооценка аспекта функциональной безопасности при рассмотрении киберзащищенности АСУ ТП и желание обеспечить ее исключительно средствами защиты информации, имеющими, к слову, значительную стоимость, приводят к низкой эффективности защитных мер. Такой крен в сторону ИБ объясняется преобладанием в соответствующих подразделениях компаний ИТ-специалистов, не имеющих достаточной подготовки в области ФБ и технологии работы

АСУ ТП в конкретных отраслях, в том числе на железнодорожном транспорте.

В ряде случаев, например при передаче сигналов от напольных устройств на борт локомотива, применение шифрования в целях повышения информационной безопасности приведет к удлинению кода посылки, а следовательно, к увеличению времени его восприятия. Причем даже на обычных участках с учетом электромагнитной обстановки и наличия помех вблизи рельсов это создаст серьезные проблемы с обеспечением безопасности движения поездов, а на высокоскоростных магистралях такая ситуация будет уже критической.

Другими словами, использование средств криптографии, навязываемых требованиями информационной безопасности, на деле может привести к реальному снижению безопасности движения поездов или ограничению скорости их движения. Аналогичные проблемы имеют место и в других отраслях.

И, наконец, третья методологическая ошибка заключается в применении вероятностных методов оценки рисков, возникающих при кибератаках, с целью обоснования необходимости повышения киберзащищенности тех или иных АСУ ТП или их подсистем. Заметим, что согласно [1] риском является совокупность трех понятий. Во-первых, это нежелательное событие (в нашем случае – кибератака на АСУ ТП в определенном формате и по определенному сценарию). Во-вторых, это ущерб, наносимый в результате данного нежелательного события.

Учитывая известный сценарий и последствия кибератаки, его тоже можно оценить, в том числе в зависимости от используемых мер противодействия.

Третьей составляющей понятия риска является вероятность наступления нежелательного события. Здесь как раз и кроется проблема, заключающаяся в том, что понятие вероятности применимо лишь к исходам опытов, которые имеют многократные повторения при одних и тех же условиях. Естественно, что кибератака на конкретную АСУ ТП никогда не будет совершена по уже использованному сценарию. Иначе говоря, мы имеем дело с единичными опытами, к которым понятие «вероятность» неприменимо. Именно этот факт и не позволяет использовать для анализа кибератак традиционное определение риска.

Так какую же математическую модель следует использовать в этом случае? Обратимся к опыту военных и МЧС, применяющих математический аппарат исследования операций. В нашем случае достаточен самый простой – отыскание оптимальной стратегии в матричной игре. Суть его заключатся в определении различных сценариев возможных кибератак злоумышленника на основе анализа угроз, а со стороны защиты – различных вариантов организационно-технических мер противодействия и наборов средств защиты с обязательным включением средств обеспечения функциональной безопасности АСУ ТП.

Для каждой пары (сценарий кибератаки и стратегия защиты) рассчитывается возможный ущерб. Далее для каждого варианта стратегии защиты выбирается максимальный возможный ущерб от кибератаки и определяется, каким ее сценарием он достигается. При этом считается, что злоумышленник полностью информирован. Затем выбирается стратегия защиты, для которой определенная на предыдущем этапе ущерб минимален. Это минимальное значение среди максимальных ущербов будет верхней ценой матричной игры, то есть минимально возможным достижимым ущербом от кибератаки при использовании различных стратегий защиты. Другими словами, такой математический аппарат позволяет правильно спланировать систему киберзащиты, гарантирующую максимально возможное снижение ущерба от кибератак на АСУ ТП.

Такой математический аппарат уже разработан [2] и успешно применен [3] в смежных областях, например при оценке эффективности и планировании технического оснащения и методического обеспечения системы менеджмента качества предприятия в условиях влияния дестабилизирующих факторов, которые имеют различную природу возникновения и механизмы воздействия на технологический процесс производства.

Основными направлениями обеспечения киберзащитности МПСУ ОАО «РЖД» являются:

- Нормативная база по кибербезопасности, применяемая в ОАО «РЖД»;
- Методические документы, разработанные Центром кибербезопасности АО «НИИАС»;
- Исследования на кибербезопасность микропроцессорных систем управления ОАО «РЖД».

Литература:

1. ГОСТ Р 51897–2011. Менеджмент риска. Термины и определения. – М., 2011.
2. Безродный Б.ф. Вероятностно-игровой метод оценки эффективности системы менеджмента качества производственного предприятия, выпускающего аппаратуру железнодорожной автоматики и телемеханики в условиях влияния дестабилизирующих факторов. Б.Ф.Безродный, Е.А.Михеев // Экономика и менеджмент систем управления. – 2015. – Т. 16. – № 2.2.

3. Безродный Б.ф. Оценка эффективности применения стратегий менеджмента качества. Б.Ф.Безродный, Е.А.Михеев, А.Н. Пашнев // Известия Института инженерной физики. – 2013. – № 1 (27). – Серпухов: МНОУ «Институт инженерной физики».

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Безродный Борис Федорович**
Москва, АО «НИИАС», заместитель руководителя Центра кибербезопасности, зав. кафедрой «Прикладная математика» МАДИ, доктор технических наук, профессор
boris-bezrodny@yandex.ru
- **Любимова Лариса Владимировна**
Москва, АО «НИИАС», ведущий инженер Центра кибербезопасности, аспирантка Российского университета транспорта (МИИТ)
lv.lyubimova@gmail.com



СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ
И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ
ТРАНСПОРТЕ

Матюхин В.Г., Уманский В.И., Шабунин А.Б.
О текущем состоянии проекта ИСУЖТ
и реализации технологии интервального
регулирувания на его платформе..... 3

Жилякова Л.Ю.
Применение теоретико-графовых методов
и алгоритмов в задаче об оптимальном
назначении локомотивов 7

Розенберг И.Н., Цветков В.Я.
Пространственная логика при управлении
транспортом 12

Шабельников А.Н., Суханов А.В.
Цифровая станция как киберфизическая
система 18

Бородин А.Ф.
Автоматизация решения задач
развития и использования железно-
дорожной инфраструктуры и перевозочных
ресурсов в Стратегии цифровой
трансформации ОАО «РЖД»..... 22

Розенберг Е.Н.
Принципы построения систем управления
и интервального регулирования движением
поездов четвертого поколения..... 27

СЕКЦИЯ №1

УПРАВЛЕНИЕ ПЕРЕВОЗОЧНЫМ ПРОЦЕССОМ,
ПЛАНИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ
ПЕРЕВОЗОК

Андросюк К.В.
Моделирование работы полигона
для заданных объемов движения
с использованием КЗ ИСУЖТ ГДП 33

Ефремов Г.А.
Проблемы и особенности автоматического
диспетчерского управления движением
поездов..... 36

Кисиль Ю.А.
Технология детализированного
сменно-суточного планирования
поездной работы полигона 38

Шабунин А.Б., Такмазян А.К.,
Есаков А.В., Зайцев С.В.
Алгоритм сменно-суточного планирования
формирования и пропуска поездов методом
оптимального сетевого потока 42

Фрольцов В.Д., Войтенко П.Е., Потрахов С.Д.
Управление тяговыми ресурсами на
восточном и юго-западном полигоне
ОАО «РЖД» в рамках ИСУЖТ 47

Левин Д.Ю.
Диспетчерское управление вагонопотоками 51

Рубцов Д.В., Шиндеров Р.В., Щепанов А.Л.
Оперативное управление в рамках технологии
организации вагонопотоков..... 59

Матвиенко В.А., Симонов А.В.,
Бородулин С.В., Груздева Е.А.
Управление локомотивным комплексом
в ИСУЖТ 63

Матюхин В.Г., Шабунин А.Б., Ефремова А.П.
Повышение качества входных данных
для интеллектуального диспетчерского
управления 66

Капустин Н.И., Капустина Е.П., Потрахов С.Д.
Интервальное регулирование движения
поездов на полигонах сети железных дорог 70

Ерофеев А.А., Терещенко О.А., Лавицкий В.В.
Интеллектуальная система управления
перевозочным процессом на белорусской
железнодорожной дороге 75

Девятков В.В., Девятков Т.В.,
Назмеев М.М., Уманский В.И., Вдовин А.Н.
Оперативное управление поездопотоками
на сети железных дорог России
с использованием имитационной модели..... 79

Семенчук А.С., Куликов А.А.,
Былинович А.П., Насонова М.М.
Табло коллективного пользования
как современный подход к отображению
процессов управления тяговыми ресурсами 84

Панин В.В., Лаханкин Е.А., Пояркова М.А.
Развитие задач «Имитационной ресурсной
модели использования инфраструктуры
ОАО «РЖД» (АС ПРОГРЕСС)» в рамках
сквозного производственного планирования 87

Дмитриев Е.О.
Принципы построения гибридного
модельного комплекса для исследования
вариантных технологических режимов
эксплуатационной работы 91

Немцов Э. Ф.
ИСУЖТ и нормативно-справочные данные 95

Розенберг Е.Н., Шухина Е.Е.,
Астрахан В.И., Гурьянов А.В., Кисельгоф Г.К.
Развитие бортовых комплексов управления и
обеспечения безопасности движения поездов 100

Бородин А.Ф., Щепанов С.Л., Рубцов Д.В., Кибанов Г.В., Подорин А.А. Автоматизированный расчет сетевого плана формирования грузовых поездов на основе критериев экономической эффективности.....	105	Ольгейзер И. А. Цифровой двойник сортировочной горки	150
Бородин А.Ф., Николаев К.Ю., Сухов А.А. Методы оценки показателей надежности в прикладных задачах управления перевозочным процессом	110	Чернов А.В., Мирошников А.М., Александров А.А. Применение цифровых сигнальных процессов для систем диагностики подвижного состава.....	153
Гришин Е.М., Мусатова Е.Г., Галахов С.А., Правдивец Н.А., Лазарев А.А. Составление порядка обслуживания локомотивов.....	115	Юшкова С.С. Интегративное управление инфраструктурой в условиях роста грузооборота на полигоне железных дорог.....	155
Галдин А.А., Калашников А.М. Об опыте использования механизмов единой аутентификации пользователей в АС ОАО «РЖД».....	119	Соколов А.Ю., Кириллова С.Ю., Панин Е.В. Расчет провозной способности железных дорог с использованием Автоматизированной системы «Паспорт наличной пропускной способности железных дорог ОАО «РЖД».....	159
Матюхин В.Г., Галдин А.А. Развитие решений по информационной безопасности ИСУЖТ в 2019 г.	121	Панин В.В., Прокофьева Е.С. Использование автоматизированных систем для обеспечения процессов взаимодействия подразделений ОАО «РЖД» при организации перевозок.....	162
Бадецкий А.П. Применение переменных нормативов в расчете плана формирования поездов как способ учета неравномерности вагонопотоков	123	Давыдов Д.О., Винокурова Т.А. Технология автоматизированного контроля перевозок скоропортящихся грузов.....	164
Эсаулов В.А., Давыдов Б.И., Гопкало В.Н. Обоснование параметров графика движения грузовых поездов	127	Панин В.В., Капунов К.А., Кириллова С.Ю., Панин Е.В., Тарар М.В., Новиков П.О. Развитие задач автоматизированной разработки и выдачи технических условий на проектирование строительства и реконструкции железнодорожной инфраструктуры общего и необщего пользования	169
Ткаченко К.С. Аналитическое моделирование компьютерного узла системы управления на железнодорожном транспорте.....	132	Петров А.С. Оценка влияния некруглосуточной грузовой и поездной работы на перерабатывающую способность и ёмкость путевого развития припортового узла с помощью методов имитационного моделирования	173
СЕКЦИЯ №2		Бутакова М.А., Дейнеко О.В., Чернов А.В. О возможности миграции ЕК АСУИ на нереляционные базы данных (NOSQL) 1	177
УПРАВЛЕНИЕ ИНФРАСТРУКТУРОЙ, ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬЮ, ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ		Корниенко А. А., Диасамидзе С. В., Шатов А. М. Подход к созданию безошибочного и устойчивого к воздействиям программного обеспечения микропроцессорных систем управления подвижным составом	179
Розенберг И.Н., Дулин С.К., Якушев Д.А. Реализация методов геоинформационного описания техногенных объектов железнодорожного транспорта в экспериментальном программно-техническом комплексе, обеспечивающим геоинформационную поддержку управления перевозочным процессом.....	134	Замышляев А.М., Игнатов А.Н., Кибзун А.И., Новожилов Е.О., Платонов Е.Н., Шубинский И.Б. О (не)допустимых значениях факторов, влияющих на излом боковой рамы вагона грузового поезда	182
Уманский В.И., Якушев Д.А., Манойло Д.С., Трусов С.В. Анализ данных современных путеизмерительных комплексов для актуализации цифровой модели железнодорожной инфраструктуры	139	Соболь В.Р. Двусторонний и односторонний доверительные интервалы для условной вероятности для анализа и предотвращения транспортных происшествий	186
Лябах Н.Н., Рогов С.А., Смирнов Ю.В. Принципы и инструменты синтеза и функционирования системы поддержки принятия решений на цифровой железнодорожной станции.....	146		

Гибнер Я.М., Пушкарев Е.А. Использование нейронных сетей для повышения эффективности работы операторов КСАУ СП	190	Абраменко А.А. Калибровка видеокамер и лазерного дальномера при совместном применении для мониторинга железнодорожной инфраструктуры	219
Горбунов Г.Г., Рубцов Д.В., Смирнов А.Е. Развитие математических моделей и программных средств для разработки схем размещения и развития сортировочных станций	193	Гуда А.Н., Давыдов Ю.В., Дагддиян Г.Д. Применение искусственных нейро- глиальных сетей в интеллектуальном анализе данных	224
Бондаренко А.В., Сергеев Б.С. Сравнение силовых полупроводниковых приборов для устройств электропитания IT- систем.....	196	Покровская О.Д. Интерактивная карта «Терминальная сеть» как цифровая платформа терминально-складского бизнеса ОАО «РЖД»	228
Бурков В.Н., Еналеев А.К., Корепанов В.О., Федянин Д.Н., Строгонов В.И. Методы и программные средства управления внедрением энергоэффективных технологий на железнодорожном транспорте	198	Охотников А.Л., Дзюба Ю.В., Цветков В.Я. Цифровая трансформация в системах управления транспортными объектами	233
Цыганов В.В., Басыров С.К., Ковалев С.М. Механизм обучения энергоэффективности на цифровом железнодорожном транспорте	203	Глухарев М. Л., Соломатова М. Ф. Применение расширенной объектно- ориентированной модели Харрисона – Руззо – Ульмана для разграничения доступа в информационных системах.....	237
Адамец Д.Ю., Буркова И.В. О подходе к решению задач календарного планирования повышения зрелости управления проектами в области энерготехнологий	208	Юдникова Е.С., Кислицин А.А. Возможности развития железнодорожной инфраструктуры на основе формирования рынка частных перевозчиков и частной локомотивной тяги	240
Храмов В.В., Акперов И.Г. Моделирование объектов железнодорожной инфраструктуры при ее проектировании и строительстве средствами спутникового мониторинга	211	Малышев Н.В., Коровяковский Е.К. Перспективы безлюдных технологий на контейнерных терминалах.....	244
Дагддиян Г.Д., Швалов Д.В. Анализ возможности использования системы технического зрения для определения скоростей скатывания отцепов на сортировочной горке	216	Безродный Б.Ф., Любимова Л.В. Особенности анализа кибербезопасности АСУ ТП на железнодорожном транспорте	248





ТРУДЫ
восьмой научно-технической конференции
Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте.
Компьютерное и математическое моделирование.
ИСУЖТ-2019

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 13 декабря 2019 г. Формат 60x90½
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

Контактная информация

АО «НИИАС»

Россия, 109029, Москва, ул. Нижегородская, 27 стр. 1

Тел./факс: +7 (495) 967-7702 (доб. 653)

E-mail: isuzht@vniias.ru

www.niias.ru