

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ПЕРЕВОЗОК

Оригинальная статья

УДК 656.224:225

EDN: <https://elibrary.ru/rpluup>

Переход к автоматизированным информационно-управляющим системам оперативного управления перевозочным процессом в сети ОАО «РЖД»: постановка задачи

М. И. Мехедов, Е. А. Сотников✉, П. С. Холодняк, С. В. Лобанов

Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ),
Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение. Для перевозочного процесса характерны непрерывные и часто непрогнозируемые изменения оперативной ситуации на станциях, участках и полигонах сети. Для стабилизации перевозочного процесса требуется принятие оперативных управляющих решений, которые сегодня на основе знаний, опыта, способностей и интуиции принимают диспетчеры и дежурные работники различных уровней с использованием информации, получаемой на автоматизированных рабочих местах от многочисленных информационных систем. Разработка и внедрение автоматизированных информационно-управляющих систем вместо информационных позволит повысить технико-экономическую эффективность оперативного управления перевозочным процессом и расширить зоны управления дежурно-диспетчерского аппарата.

Материалы и методы. Предложено классифицировать факторы, влияющие на перевозочный процесс, на внутренние и внешние. Рассмотрены причины их формирования и характер их воздействия на оперативную работу.

Результаты. Установлены временные параметры на разработку оперативных управляющих решений и доказана необходимость выполнения технико-экономических оценок при выборе рациональных решений. Обоснована этапность внедрения информационно-управляющих систем в части выбора категорий диспетчеров и дежурных работников, автоматизированные рабочие места которых подлежат первоочередной разработке в качестве информационно-управляющих рабочих мест. Рассмотрены условия построения иерархических имитационных моделей работы управляемых объектов для выбора рациональных оперативных управляющих решений на конкретных рабочих местах.

Обсуждение и заключение. Результаты исследования могут служить основой для создания в ОАО «РЖД» программы решения актуальной проблемы перехода от информационных к автоматизированным информационно-управляющим системам оперативного управления перевозочным процессом на сети российских железных дорог.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: железные дороги, перевозочный процесс, неопределенность системы, фактор, оперативные управляющие решения, имитационные модели, информационно-управляющие системы управления

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Мехедов М. И., Сотников Е. А., Холодняк П. С., Лобанов С. В. Переход к автоматизированным информационно-управляющим системам оперативного управления перевозочным процессом на сети ОАО «РЖД» // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2024. Т. 83, № 3. С. 231–247.

✉ baklanova.yuliya@vniizht.ru (Е. А. Сотников)

© Мехедов М. И., Сотников Е. А., Холодняк П. С.,
Лобанов С. В., 2024

Original article

UDK 656.224:225

EDN: <https://elibrary.ru/rpluup>



Transition to automated information and control systems for the operational management of transportation in the Russian Railways network: terms of reference

Mikhail I. Mehedov, Evgeniy A. Sotnikov✉,
Pavel S. Kholodnyak, Sergey V. Lobanov

Railway Research Institute,
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Transportation process experiences continuous and often unpredictable changes in the operational situation at stations, sections and proving grounds of the network. Stabilisation of transportation process requires operative control decisions, which today are made by dispatchers and duty workers of various levels on the basis of knowledge, experience, abilities and intuition using information received at automated work stations from numerous information systems. Development and introduction of automated information and control systems instead of information systems will increase technical and economic efficiency of operational management of transportation and expand the control zones of the duty dispatchers.

Materials and methods. The paper proposes to classify factors affecting transportation process as internal and external. It examines the reasons for their formation and the nature of their impact on operational work.

Results. The work establishes time parameters for the development of operational control decisions and proves the necessity of technical and economic evaluations in the selection of rational decisions. The work justifies the stages of implementation of information and control systems in terms of selecting the categories of dispatchers and on-duty workers whose automated work stations are subject to priority development as information and control workplaces. The authors consider the conditions for the construction of hierarchical simulation models of the operation of controlled objects for the selection of rational operational control decisions at specific workplaces.

Discussion and conclusion. The research results can serve as a basis for the Russian Railways to create a programme for solving the urgent problem of transition from information to automated information and control systems for operational management of transportation process on Russian Railways.

KEYWORDS: railways, transportation process, system uncertainty, factor, operational control decisions, simulation models, information and control systems

FOR CITATION: Mekhedov M. I., Sotnikov E. A., Kholodnyak P. S., Lobanov S. V. Transition to automated information and control systems for the operational management of transportation in the Russian Railways network: terms of reference. *Russian Railway Science Journal*. 2024;83(3):231-247. (In Russ.).

✉ baklanova.yuliya@vniizht.ru (E. A. Sotnikov)

© Mekhedov M. I., Sotnikov E. A., Kholodnyak P. S.,
Lobanov S. V., 2024

Введение. Необходимость перехода от информационных¹ к информационно-управляющим системам оперативного управления перевозочным процессом вызвана прежде всего непрерывным и часто трудно прогнозируемым и даже непредсказуемым изменением оперативной эксплуатационной ситуации на станциях, участках и полигонах сети, что согласно теории управления [1–3] характеризуется понятием «неопределенность поведения большой системы».

Следует отметить, что действие внутренних и внешних факторов совсем не означает, что оперативный ход перевозочного процесса является случайным и стихийным. Его течение определяют некоторые условия, к основным из которых относятся: планы перевозок пассажиров и грузов по объемам и маршрутам следования, принятая технология работы ОАО «РЖД», возможности инфраструктуры по пропускной и перерабатывающей способности, плановые размеры тяговых ресурсов. Все эти условия можно считать ограничениями, а перевозочный процесс с учетом оперативной работы следует рассматривать как большую транспортную систему, функционирующую в установленных границах планируемых ограничений в условиях неопределенности.

В таких условиях разрабатываемые в настоящее время основополагающие технологические нормативные документы для управления перевозочным процессом не могут в полной мере служить руководством для посуточной и внутрисуточной организации поездной и грузовой работы, поскольку в них используются постоянные для всего периода действия исходные данные. Так, в нормативном графике движения поездов (НГДП) и месячных технических нормах эксплуатационной работы постоянным является посуточное количество грузовых поездов. В сетевом плане формирования то же относится к вагонопотокам по расчетным назначениям поездов, а в технологических процессах линейных предприятий — время выполнения различных операций с поездами и вагонами и т. п. Фактически же все эти исходные данные являются переменными величинами.

Период действия данных технологических нормативных документов является достаточно длительным. Например, НГДП разрабатывается на летний и зимний периоды, вариантный график движения поездов (ВГДП) — на время производства путевых работ, месячные технические нормативы — соответственно на месяц и т. д. Даже иногда выполняемые корректировки этих нормативных документов, например плана формирования поездов, предусматривают его многосуточное действие при постоянных для всего такого периода исходных данных.

В результате главной задачей основополагающих нормативных документов является выработка принципиальных, длительно действующих технологических положений организации поездной, маневровой и грузовой работы как для линейных подразделений (станции, локомотивные и вагонные депо, дистанции пути и искусственных сооружений и др.), участков, полигонов сети, так и для их взаимодействия между собой, т. е. в конечном итоге разработка технологии работы сети в целом.

Нормативные технологические документы используются для выработки важнейших плановых количественных и качественных показателей перевозочного процесса на месячные и годовые периоды: участковой скорости, передачи вагонов по стыкам, рабочего парка вагонов и локомотивов, контингента локомотивных бригад и др. Однако при текущей организации посуточной и внутрисуточной эксплуатационной работы требуется учитывать не средние или другие постоянные исходные данные, а фактические и прогнозные значения, например, количества поездов, времени их следования по перегонам и участкам, размеров погрузки и выгрузки вагонов на станциях, которые могут существенно отличаться от среднесуточных или любых других постоянных их значений.

Именно неопределенность перевозочного процесса привела к необходимости организации на железнодорожном транспорте специально выделенной и достаточно сложной структуры оперативного управления поездной, маневровой и грузовой работой, которой предписывается разработка сменно-суточных (и на более короткие периоды) планов поездной и грузовой работы и их исполнение. Для этого круглосуточно в диспетчерских центрах и различных пунктах управления работает многотысячный дежурно-диспетчерский аппарат всех уровней управления — линейного, регионального и сетевого.

Главной задачей этого аппарата является выработка всех оперативных управляющих решений (ОУР) по продвижению поездов, локомотивов и вагонов, организации текущего обслуживания и ремонта подвижного состава и инфраструктуры, взаимодействия с клиентурой.

При подготовке ОУР используются указанные выше нормативные технологические документы, но при этом важнейшую роль играет учет складывающихся обстоятельств перевозочного процесса в конкретный период. Поэтому требуется детальная оценка как его фактического состояния, так и, что очень важно, прогнозных состояний эксплуатационной ситуации в результате действия возможных вариантов ОУР.

Отметим также, что нормативные технологические документы вырабатываются с учетом их достаточно

¹ Информационные технологии на магистральном транспорте: учеб. / В. Н. Морозов [и др.]. М.: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2018. 405 с.

глубокой технико-экономической оценки. НГДП, сетевой план формирования поездов и другие документы разрабатываются на основе уже выполненных многочисленных теоретических исследований, в которых в принимаемых решениях используются не только технологические, но и технико-экономические оценки. Применяется достаточно сложный математический аппарат и программное обеспечение, а конечные результаты получаются на основе расчетов, выполняемых автоматизированными системами.

Подобный порядок, предусматривающий теоретически глубоко обоснованную технологическую и технико-экономическую оценку принимаемых решений, должен безусловно использоваться и при выработке ОУР, что требует по существу разработки многих новых теоретических положений технологии оперативного управления. На их основе необходимо создать автоматизированные информационно-управляющие системы управления перевозочным процессом в оперативном режиме (далее — АИУС) с использованием данных многочисленных действующих в основном информационных систем управления.

Необходимо значительное развитие научных исследований в области оперативного управления. Отметим, что по такому направлению эксплуатационной науки, как оперативное управление, выполнено крайне недостаточно исследований. Следует согласиться с тем, что «разработке нормативных документов посвящено много публикаций, но почти нет исследований, как обеспечить их выполнение» [4]. Непосредственно для выработки ОУР имеются положения о типах некоторых оперативных управляющих воздействий, содержании, показателях и сроках подготовки оперативных планов, районах управления и ответственности различных диспетчеров в диспетчерских центрах, т. е. лиц, принимающих решения (ЛПР)². Развернутый перечень регулировочных мер и передовых приемов в управлении поездной и грузовой работой приведен В. Н. Морозовым³. Предложения по организации оперативной работы с определением методов регулирования хода эксплуатационной работы в региональных диспетчерских центрах управления перевозочным процессом содержатся в [5]. Способы выработки ОУР по регулированию движения поездов

поездными диспетчерами в затрудненных условиях предложены Г. М. Грошевым⁴ и Н. А. Тушиным⁵ и в [6, 7]. Условия повышения стабильности пропуска поездопотоков на основе более полного учета влияния возмущающих воздействий и совершенствования организации информационной среды для выработки ОУР рассмотрены в работе В. В. Каменского⁶ и в [8]. Методы рациональной организации временной отстановки поездов от движения при затруднениях в работе путей необщего пользования предложены в работе П. О. Новикова⁷ и в [9]. Использование технико-экономических оценок при выработке ОУР рассмотрены в [10]. Однако все эти предложения не были реализованы в конкретных алгоритмах, программном обеспечении, а выработка ОУР на основе нормативной технологии, плановых заданий, данных информационных систем, поступающих на автоматизированные рабочие места (АРМ), осуществляется лично диспетчерами и дежурными по управляемым объектам. Причем в основном именно они должны учитывать все виды воздействий, определяющих неопределенность поведения большой системы, которую можно обозначить как «перевозочный процесс в оперативном режиме».

Такое положение сложилось из-за отсутствия до настоящего времени возможности внедрения теоретических разработок по оперативному управлению в практику выработки ОУР дежурно-диспетчерским аппаратом. Соответственно, заказчик (ОАО «РЖД») заключал и продолжает заключать договоры на научные исследования, имеющие практический выход, т. е. на информационное обеспечение выработки ОУР оперативным персоналом. И в этой области (информационного обеспечения) выполнен большой комплекс теоретических исследований и проектных работ с их практическим внедрением в виде сети диспетчерских центров управления различных уровней — сетевого (ЦУП), полигонного (ПЦУП), регионального (ДЦУП), а также станционных центров управления. В каждом центре управления имеются АРМ оперативных работников, обеспечивающие их обширными данными многочисленных информационных систем.

Сегодня развитие фундаментальных исследований по созданию искусственного интеллекта, разработка

² Инструкция по оперативному планированию поездной и грузовой работы в ОАО «РЖД». М.: ОАО «РЖД», 2013. 73 с.

³ Информационные технологии на магистральном транспорте: учеб. / В. Н. Морозов [и др.]. М., 2018.

⁴ Грошев Г. М. Оптимизация диспетчерского управления на железнодорожном транспорте на основе автоматизации в условиях структурной реформы: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.08. СПб., 2007. 48 с.

⁵ Тушин Н. А. Построение системы «Автодиспетчер» для управления подводом массовых грузов крупным потребителям: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.08. Екатеринбург, 2004. 177 с.

⁶ Каменский В. В. Методы интеллектуальной поддержки принятия решений в системах управления движением поездов: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06. Ростов н/Д., 2006. 174 с.

⁷ Новиков П. О. Разработка технологии временного отставления от движения и подъема грузовых поездов: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.08. М., 2014. 133 с.

новых технических решений в области программного обеспечения, а также существенно возросшие возможности вычислительной техники создали условия, когда внедрение информационно-управляющих систем в практику оперативного управления перевозочным процессом становится реальностью.

В целом условия постановки проблемы перехода к информационно-управляющим системам управления перевозочным процессом можно представить на рис. 1.

Как уже упоминалось, научно проработаны и реализованы вопросы управления большой системой «перевозочный процесс» по блокам 3 и 6, и исследования по ним непрерывно продолжаются. В то же время вопросы, представленные в блоках 4 и 7, проработаны крайне недостаточно, а само оперативное управление с выработкой ОУР осуществляется диспетчерским аппаратом с оценками на экспертном уровне.

Рассмотрим далее основные положения, которые требуется учитывать при создании АИУС.

Основные факторы, влияющие на перевозочный процесс. Все факторы, влияющие на оперативный ход перевозочного процесса, делятся на внутренние и внешние (рис. 2).

Ниже дана расшифровка некоторых групп *внутренних факторов*.

1. Предоставление «окон» существенно снижает пропускную и перерабатывающую способность линий. И хотя при этом в нормативном технологическом документе (ВГДП) основные условия работы полигонов учитываются, но всегда возникает много дополнительных воздействий на оперативный ход перевозочного процесса, вызывающих необходимость выработки ОУР: переносы времени предоставления «окон»; отклонения от предусмотренного хода работ; неучтенные в ВГДП дополнительные трудности по регулированию дислокации локомотивов и условий работы технических станций, принимающих сгущенные поездопотоки и др. Дополнительные воздействия на ход перевозочного процесса в период «окон» требуют от диспетчерского аппарата выработки ОУР.

2. Совмещенное движение пассажирских и грузовых поездов технологически предусмотрено в НГДП, но нормативный график не может предусмотреть опоздания пассажирских поездов и, следовательно, необходимость «нагона» расписаний с дополнительными задержками грузовых поездов. Например, на двухпутных линиях каждый обгон вызывает снижение участковой скорости на 0,1 км/ч. При этом статистический анализ и расчеты показали, что если бы все задерживаемые в пути пассажирские поезда в дальнейшем прибывали без «нагонов» на конечные станции, то уровень выполнения графика в пассажирском движении был ниже 90 %. На сети график выполняется



Рис. 1. Схема реализации целевой задачи системы

Fig. 1. System task implementation chart



Рис. 2. Внутренние и внешние факторы, вызывающие неопределенность функционирования системы «перевозочный процесс в оперативном режиме работы»

Fig. 2. Internal and external factors causing uncertainty in the operational performance of the transport system

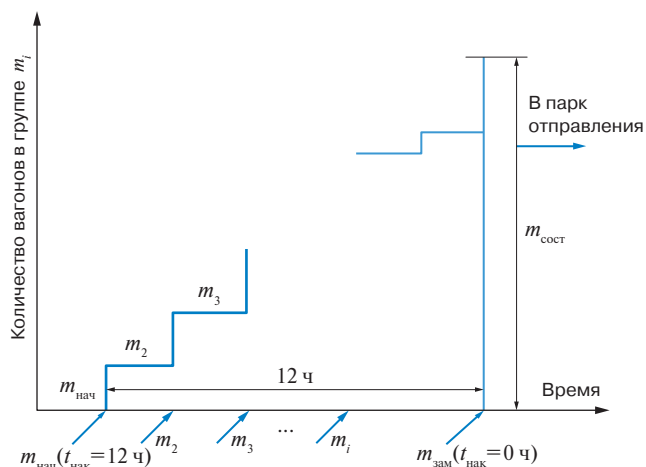


Рис. 3. Процесс накопления составов при среднесуточном образовании два состава в сутки:

$m_{\text{нач}}$ — начальная группа (вагонов); $m_{\text{зам}}$ — замыкающая группа; $m_2, m_3, \dots, m_i$ — промежуточные группы; $m_{\text{сост}}$ — длина накапливаемого состава

Fig. 3. Accumulation of trains at average daily formation of two trains per day:

$m_{\text{нач}}$ — initial group (cars); $m_{\text{зам}}$ — closing group; $m_2, m_3, \dots, m_i$ — interim groups; $m_{\text{сост}}$ — length of the accumulated train

на уровне 97–98 %, поэтому в условиях совмещенного грузового и пассажирского движения требуется значительное количество «нагонов» с соответствующим влиянием на движение грузовых поездов.

3. Отказы технических средств (ОТС) по пути, подвижному составу и др. происходят вследствие невозможности достижения 100% уровня их надежности. Имеются ОТС, не вызывающие заметных задержек в оперативной работе (например, излом рельса без последствий для подвижного состава на станционном сортировочном пути). В этом случае может потребоваться временное изменение специализации таких путей с дополнительными маневровыми передвижениями. Но это не должно вызывать каких-либо затруднений в оперативной организации поездной работы. Статистически учитываемые ОТС 1–2 категории, вызывающие задержки поездов, возникают как на участках при движении поездов, так и на станциях и требуют принятия ОУР.

4. Технологическими нарушениями (ТН) являются, например, невыдержка времени хода по вине локомотивных бригад, неправильная диспетчерская регулировка поездов на участке, превышение норм времени технической обработки составов на пунктах технического обслуживания (ПТО) вагонов и т. п. Ведется учет таких нарушений, требующих принятия ОУР. К этой же группе следует отнести и нарушения хода перевозочного процесса, связанные с особой технологической необходимостью (например, пропуск по участку сверхграфических размеров движения, следование различного

рода приоритетных поездов, остановки поездов для посадки больных и т. п.). Различные ТН встречаются чаще ОТС и требуют периодического вмешательства дежурно-диспетчерского аппарата в оперативный ход перевозочного процесса.

5. К нарушениям безопасности движения относятся случаи брака в поездной и маневровой работе, аварии и крушения. Такие случаи, как правило, требуют принятия ОУР для стабилизации эксплуатационной работы.

6. Колеблемость временных параметров продвижения различных поездов, составов и вагонов, а также однотипных технологических операций с ними вызывает частое образование оперативных ситуаций, которые не предусмотрены в заранее разработанных нормативных технологических документах. В таких документах определяется лишь порядок оперативной работы в условиях отсутствия отклонений от нормативных требований, что бывает далеко не всегда.

Факторы колеблемости временных параметров возникают вследствие наличия многих переменных условий выполнения стандартных технологических процессов на железнодорожном транспорте. Например, время выполнения технологической операции роспуска составов на сортировочной горке зависит от числа вагонов в составе, количества и длины отдельных отцепов, наличия вагонов с ограничениями по скорости соударений или запрещенных к пропуску через горку, ходовых свойств вагонов и др. Но в технологических процессах станций время роспуска вагонов принимается как постоянная величина, по которой определяются возможности станций по беспрепятственному приему поездов с участков. В результате завышается перерабатывающая способность станций с соответствующими последствиями.

Фактическое время движения каждого поезда по участку зависит от количества обгонов и скрещений конкретного поезда, возможных задержек при проследовании станций, точности соблюдения межпоездных интервалов, возможных случаев ОТС, ТН и др. Однако во всех технологических и прогнозных расчетах время следования вагонов при доставке грузов принимается на основе среднего значения участковой скорости по участку для всех поездов, что во многих случаях не соответствует фактическим данным.

Особенно большим колебаниям подвержено время нахождения конкретных вагонов или их групп на технических станциях при операции «накопление составов». На рис. 3 приведен пример процесса накопления при среднесуточном образовании двух составов в сутки.

В данном случае для начальной группы $m_{\text{нач}}$ среднее время нахождения под накоплением составляет $t_{\text{нак}}(m_{\text{нач}}) = 12$ ч, а для замыкающей группы всегда $t_{\text{нак}}(m_{\text{зам}}) = 0$ ч, т. е. $\Delta t_{\text{нак}} = 12$ ч. При выполнении груженого рейса вагон в среднем проходит более четырех

технических станций с переработкой. Таким образом, только за счет фактора колеблемости периода накопления составов изменение продолжительности движения вагона может достигать $4 \cdot 12 = 48$ ч (2 сут), что, в свою очередь, наряду с другими факторами вызывает фактические колебания поездопотоков на участках со значительными отклонениями их от средних значений и создание ситуаций, требующих принятия ОУР. Возникают сложности и с разработкой прогнозов хода перевозочного процесса.

Рассмотрим некоторые из *внешних факторов* (рис. 2):

1. Предъявляемые к перевозке отправки могут включать один или несколько вагонов или целый маршрут. Количество вагонов в немаршрутизируемых отправлениях не равно среднесуточному значению месячного плана по количеству вагонов, направлениям следования и времени предъявления к отправлению. Так, если за месяц планируется отправить 120 вагонов, то это совсем не значит, что каждые сутки отправляется $120/30 = 4$ вагона в строгой очередности по различным адресам. Величина и назначение следования каждой отправки для отправителя зависят от множества собственных исходных причин — договоров между поставщиками и потребителями, конкретных условий на предприятии по выпуску продукции, наличия порожних вагонов и др. Характер изменения размеров посуточной погрузки — U (вагонов/сут) по сети железных дорог представлен на рис. 4.

Маршрутизируемые отправки также неравномерны по времени предъявления и направлениям следования. Рассмотренные виды неравномерности повышают посуточные колебания размеров движения по участкам.

2. В современных условиях значительны затруднения в работе крупных путей необщего пользования (ПНП), особенно морских портов, что вызывается многими факторами: выполнением договорных условий, подходом судов, емкостью складов, требованиями таможенной службы, затруднениями в работе погрузочно-разгрузочных средств и т. п. В результате возникают трудности с приемом вагонов от железной дороги, образуется избыток вагонного парка на станциях и участках, снижается пропускная и перерабатывающая способность линий.

3. Имеется много собственников и арендаторов вагонного парка, которые практически не согласовывают между собой оперативную работу, а наоборот, находятся в конкурентных условиях. В результате подвоз порожних вагонов к местам массовой погрузки происходит несогласованно и вызывает затруднения в работе железных дорог, особенно в тех случаях, когда создается резерв порожних вагонов. Причем для отстоя такого резерва вагонов используют пути ОАО «РЖД». Как результат — избыток вагонного парка и нарушение нормативной технологии перевозочного процесса.

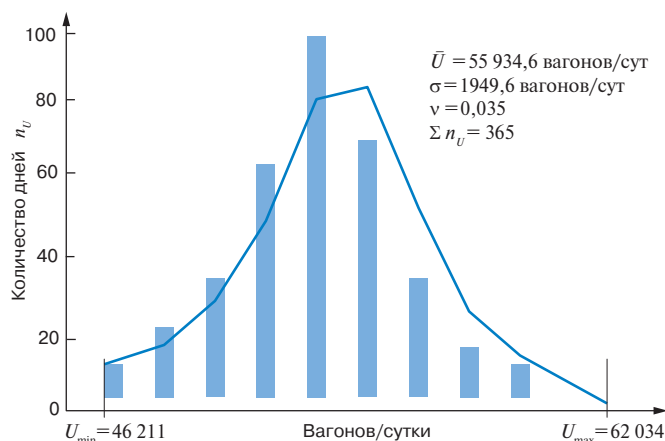


Рис. 4. Распределение размеров сетевой посуточной погрузки на сети ОАО «РЖД» (2021 г.):

σ — среднеквадратическое отклонение; v — коэффициент вариации; $\bar{U}$ — среднесуточная погрузка

Fig. 4. Distribution of daily network loading on the Russian Railways (2021):

σ — standard deviation; v — variation coefficient; $\bar{U}$ — average daily loading

По мнению авторов, остальные группы внешних факторов пояснений не требуют вследствие очевидности последствий их воздействия на перевозочный процесс.

Внутренние и внешние факторы, вызывающие неопределенность поведения перевозочного процесса, обладают тремя общими свойствами:

1) множественность исходных причин проявления факторов.

Например, по позиции ОТС (рис. 2) ведется учет по 64-м факторам. Рассмотрим один из них — неисправность локомотива на станции и в пути следования. В Дирекции тяги причины, вызывающие проявление данного фактора, делятся по деталям и оборудованию локомотива с выделением конкретных причин отказов. В распоряжении ОАО «РЖД» по учету ОТС приведен перечень объектов, элементов и причин отказов (по полному перечню отказов), занимающий более 800 страниц. Подобное положение по множеству исходных причин проявления факторов характерно и для других групп внутренних и внешних факторов. Поэтому в оперативном режиме невозможно рассматривать исходные причины, воздействующие на ход перевозочного процесса. В АИУС может учитываться лишь результат конкретного действия различных факторов.

2) непредсказуемость или затрудненная предсказуемость времени начала действия и степени влияния многих факторов на перевозочный процесс. Это относится, например, к таким группам факторов, как ОТС, ТН, БД, а также к затруднениям в работе крупных выгрузочных районов, неблагоприятным погодным условиям и природным явлениям, неправомерным вмешательствам посторонних лиц.

Детальный анализ условий проявления других групп факторов также указывает на их связь со свойством трудности прогнозирования. Например, факторы группы «Неравномерное предъявление отправителями вагонов к перевозке» создают впечатление ясности: отправитель определяет, сколько вагонов будет погружено в плановые сутки согласно суточной заявке на перевозку учетной формы ГУ-12, в которой указано, сколько и в каких направлениях отправляется вагонов. Однако более глубокий анализ этого вопроса показывает, что эти данные не совсем достоверны для прогнозирования поездной и маневровой работы. Во-первых, нередко случаи отказа от заявки или изменения ее содержания. Во-вторых, неизвестно конкретное время окончания погрузки или выгрузки в течение суточного периода. Без таких данных прогноз эксплуатационной ситуации не может быть точным. Углубленный анализ выявляет сложность прогнозирования и по факторам других групп. В результате действие второго свойства внутренних и внешних факторов крайне негативно влияет на разработку ОУР по стабилизации перевозочного процесса. Поэтому требуется разработка новых методов прогнозирования действия различных факторов для максимального снижения уровня их непредсказуемости.

3) краткость выделенного времени для учета действия факторов при выработке ОУР.

Продолжительность выделяемого времени для выработки ОУР может исчисляться секундами, минутами и очень редко может быть немногим более часа. Так, дежурный по станции, часто принимает ОУР по выбору очередности выполнения поездных

и (или) маневровых операций при возникновении враждебных маршрутов. На это действие отводятся секунды. Минутами исчисляется период принятия ОУР поездным диспетчером, например, по постановке на обгон грузового поезда пассажирским, очередности отправления поездов с технических станций и др. Более продолжительным может быть период принятия различных ОУР старшим дорожным диспетчером в ДЦУП или диспетчерами в ЦУП. Продолжительность разработки оперативных планов поездной и грузовой работы на следующие сутки может достигать двух часов.

Учитывая множественность факторов и необходимость использования огромных массивов информации для принятия ОУР, указанные временные параметры являются жестким ограничением при построении АИУС.

На основании вышесказанного можно установить основные условия, которые требуется учитывать при создании АИУС (рис. 5).

Основные особенности перевозочного процесса.

При разработке АИУС необходимо учитывать основные особенности оперативного хода перевозочного процесса:

- 1) существенные посуточные колебания вагоно- и поездопотоков, независимых по направлениям движения;
- 2) значительное увеличение рабочего парка вагонов и количества поездов на станциях, участках и полигонах сети в отдельные периоды.

Рассмотрим причины формирования этих особенностей и характер их воздействия на оперативную работу.

Основной внешней причиной посуточной неравномерности вагоно- и поездопотоков является неравномерность посуточной погрузки вагонов, а внутренней — неравномерность продвижении грузовых вагонов на маршруте от отправителя до получателя, выражающаяся в неодинаковом времени проследования различными грузовыми отправлениями отрезков маршрута одинаковой протяженности и маршрута в целом, о чем в статье говорилось ранее, например, за счет изменения периода накопления составов — $t_{\text{нак}}$. В результате этого уровень неравномерности, который имеет место при отправлении вагонов со станций, выполняющих грузовые операции, повышается на каждом последующем участке прохождения полного маршрута отправленными вагонами.

Численная оценка изменения времени следования отправок выполнена на основе данных статистического отчета ОАО «РЖД» формы ЦО-31. Например, в целом по всем грузовым отправлениям различных категорий (групповые, повагонные и др.) за один из месячных периодов 2023 г. при среднем исполненном сроке доставки 6,0 сут 6,3 % отправок имели срок доставки более 11,4 сут.



Рис. 5. Основные условия, требующие учета при создании АИУС

Fig. 5. Main conditions to be considered when creating automated information and control systems for operational transport management

Наглядное представление о причинах формирования посуточной неравномерности грузеных и порожних вагонопотоков и на их основе поездопотоков на направлениях сети, а значит, и на расчетных участках дает рис. 6.

В левой части рисунка показано, что на станциях погрузки количество отправленных вагонов изменяется каждые сутки. Это определяет неравномерность формирования грузеных вагонопотоков. В средней части представлен характер изменения времени доставки отправок на одних и тех же маршрутах, что определяет изменение не только времени продвижения поездов, но и их посуточного количества на участках и маршрутах в целом. В правой части показано, что на станциях выгрузки количество отправленных вагонов также изменяется каждые сутки. В результате образуется посуточная неравномерность порожних вагонопотоков. В целом все это приводит к формированию посуточной неравномерности грузовых поездопотоков на участках и направлениях сети железных дорог.

В исследованиях [11, 12] установлено соответствие посуточных колебаний нормальному закону распределения (при отсутствии крупных нарушений хода перевозочного процесса). По сравнению с периодом плановой экономики СССР в современных условиях уровень колебаний возрос и может быть определен с использованием формулы

$$\sigma_{\text{сут}} = v \bar{N}_{\text{сут}}, \quad (1)$$

где $\sigma_{\text{сут}}$ — среднеквадратическое отклонение суточных поездопотоков, поездов/сут; v — коэффициент вариации; $\bar{N}_{\text{сут}}$ — среднесуточный поездопоток, поездов/сут, при значениях v (табл. 1.).

Среднесуточный поездопоток определяется в соответствии с табл. 1.

При нормальном законе распределения известна вероятность $P_{\text{сут}}$ нахождения посуточных значений поездопотока $N_{\text{сут}i}$ в пределах

$$\bar{N}_{\text{сут}} - t\sigma_{\text{сут}} \leq N_{\text{сут}i} \leq \bar{N}_{\text{сут}} + t\sigma_{\text{сут}}, \quad (2)$$

где t — нормированное отклонение.

При $t = 2,5$ $P_{\text{сут}} = 0,95$, что следует признать удовлетворительной точностью в данных расчетах. Тогда, например, для $\bar{N}_{\text{сут}} = 60$ поездов/сут при $\sigma_{\text{сут}} = 60 \cdot 0,115 = 6,9 \approx 7$ поездов/сут возможные и требующие учета в эксплуатационных расчетах пределы посуточных колебаний размеров движения поездов по направлениям движения согласно (2) составят

$$43 \text{ поезда/сут} \leq N_{\text{сут}i} \text{ (при } \bar{N}_{\text{сут}} = 60 \text{ поездов/сут)} \leq 77 \text{ поездов/сут.}$$

Из этих данных следуют два важных вывода для управления оперативной работой.

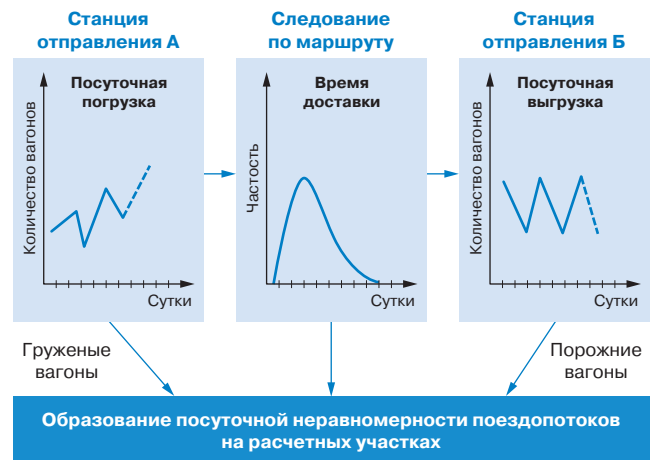


Рис. 6. Причины формирования посуточной неравномерности грузеных и порожних вагонопотоков и грузовых поездопотоков на маршруте А — Б

Fig. 6. Causes of daily irregularity of loaded and empty car traffic volume and freight train traffic on the A — B route

Таблица 1

Величина коэффициента вариации колебаний суточных поездопотоков

Table 1

Variation coefficient of daily train traffic fluctuations

Среднесуточный поездопоток, $\bar{N}_{\text{сут}}$, поездов/сут	15	30	45	60	80 и более
Коэффициент вариации v	0,146	0,133	0,121	0,115	0,113

1. Для пропуска в любые сутки поездов без задержек из-за недостатка пропускной способности линия должна иметь уровень загрузки

$$\frac{\bar{N}_{\text{сут}}}{\bar{N}_{\text{сут}} + 2,5\sigma_{\text{сут}}} 100 \leq 80 \%. \quad (3)$$

Целесообразность обеспечения уровня загрузки участков в пределах 80 % в целях обеспечения эксплуатационной надежности работы участков показана, например, в [12].

В настоящее время и в ближайшей перспективе на наиболее интенсивно используемых направлениях сети протяженностью более 20 тыс. км фактический уровень загрузки выше 80 %. Следовательно, в АИУС должны быть заблаговременно предусмотрены алгоритмы организации перевозочного процесса в условиях задержек поездов из-за недостатка пропускной способности даже при отсутствии воздействия каких-либо факторов (о которых говорилось ранее), снижающих пропускную способность. Разработчикам системы необходимо заранее предусмотреть, каким

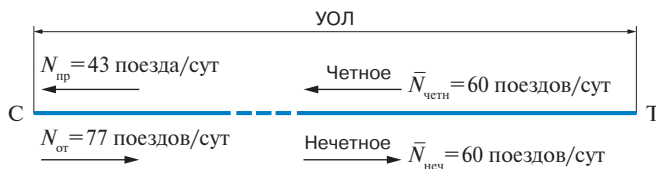


Рис. 7. Пример дисбаланса локомотивов по станции оборота локомотивов С на участке оборота локомотивов (УОЛ) С—Т

Fig. 7. Example of locomotive imbalance at Locomotive Turnover Station C at Locomotive Turnover Section C—T

образом будут определяться размеры снижения возможностей по пропуску поездов и продолжительность такого периода, а также какими могут быть компенсационные меры по сохранению размеров движения или меры по стабилизации перевозочного процесса при пропуске сниженного числа поездов. Это позволит обоснованно формировать принимаемые ОУР в таких случаях.

2. При регулировании дислокации локомотивного парка необходимо учитывать возможность образования значительного дисбаланса локомотивов на станциях их оборота, в том числе на участках с одинаковыми размерами движения в четном и нечетном направлении. В рассмотренном примере при $\bar{N}_{\text{сут}} = 60$ поездов/сут в обоих направлениях движения предельной расчетной разницей размеров движения в четном и нечетном направлении является величина $77 - 43 = 34$ поездов/сут (рис. 7).

Если на станции оборота локомотивов С в такие сутки нет локомотивов оперативного резерва дирекции движения (ЦД), то дисбаланс локомотивов для отправления поездов нечетного направления составит также 34 локомотива. Соответствующим должно быть и поступление локомотивов одиночным следованием. Такую величину следует признать очень большой, но она возможна. Причем потребность в направлении 15–20 локомотивов в таких случаях не является редкой, что увеличивает непроизводительные пробеги локомотивов. Для их снижения и обеспечения полного вывоза поездов в АИУС должен быть предусмотрен многосуточный прогноз размеров движения на УОЛ с тем, чтобы заранее определять сутки значительного дисбаланса локомотивов. Создание в такие сутки локомотивов оперативного резерва ЦД может минимизировать пробеги локомотивов в одиночном следовании.

Вторая особенность, вызывающая образование затруднений, — неизбежность возрастания парка вагонов на полигонах сети в отдельные периоды. Это является следствием воздействия факторов многих групп. Наибольшее влияние на периодический рост вагонного парка оказывают внешние факторы — затруднения с выгрузкой в крупных выгрузочных вагонах, несогласованный подвоз порожних вагонов к крупным

погрузочным районам, а из внутренних факторов — недостаток пропускной способности и предоставление «ОКОН».

«Механизм» образования избытка вагонного парка связан со значительной длиной груженого и порожнего рейса вагона, превышающей 2 тыс. км, а значит, и длительным временем следования вагона от станции отправления до станции назначения, составляющим в среднем по всем отправкам $\bar{t}_{\text{дост}} \approx 6$ суток. Это означает, что если в j -е сутки начались затруднения с пропуском поездов по некоторому участку, то на пути к этому участку уже находится в среднем n_j вагонов. При этом

$$n_j = n_j^{\text{сут}} \bar{t}_{\text{дост}}, \quad (4)$$

где $n_j^{\text{сут}}$ — среднесуточное поступление вагонов на затрудненный участок (станцию) в период до j -х суток, вагонов/сут.

Даже при остановке погрузки в затрудненный адрес непосредственно в день возникновения такого затруднения общее количество вагонов, которые должны быть избыточно размещены в поездах, временно отставленных от движения, или вне поездов на станционных путях, в среднем составит

$$\bar{n}_j^{\text{изб}} = n_j \frac{100 - \alpha}{100}, \quad (5)$$

где α — доля приема вагонов от среднесуточной нормы в затрудненный период, %.

Предположим, что на предпортовую станцию в среднем в сутки поступает $n_j^{\text{сут}} = 200$ вагонов/сут. И вследствие затруднений прием вагонов от железной дороги снизился до $\alpha = 60$ % от среднесуточной нормы.

Тогда в момент возникновения затруднений в пути находится уже $\bar{n}_j^{\text{изб}} = 200 \cdot 6 \frac{100 - 60}{100} = 480$ вагонов.

Если эти вагоны будут размещены в поездах, временно отставленных от движения, на приемоотправочных путях станций расчетного полигона потребуется разместить ~ 8 таких поездов. Практически же избыточный парк значительно превысит такую величину, так как погрузка в адрес затрудненного участка немедленно после начала затруднений не прекращается, в чем заинтересованы отправители грузов. Для ОАО «РЖД» прекращение погрузки также нежелательно, поскольку приводит к снижению доходов. В результате нередко на полигонах сети образуется значительный избыточный парк вагонов, размещенных в поездах, временно отставленных от движения, или другим образом на станционных путях. Это, в свою очередь, снижает пропускную способность участков с осложнениями в эксплуатационной работе. В АИУС для принятия рациональных ОУР в таких ситуациях должны предусматриваться

сценарии управления на основе выполнения многосуточного прогноза с учетом подхода уже погруженных вагонов к затрудненному участку.

Первоочередные задачи разработки АИУС. В целях ускорения создания АИУС необходим правильный выбор первоочередных задач, требующих научной проработки и практического решения, тем более что опыт, в том числе мировой, в этом отношении крайне ограничен. В данной статье в дальнейшем рассматриваются ЛПР и ОУР, относящиеся к подразделениям Центральной дирекции управления движением ОАО «РЖД» (ЦД). Подобная работа должна быть выполнена и для других дирекций ОАО «РЖД», связанных с оперативным управлением перевозочным процессом.

Состав ЛПР. Прежде всего следует определить перечень работников, принимающих ОУР, так как именно для них будет разрабатываться система АИУС. Сложность состоит в множественности категорий ЛПР с самостоятельным набором ОУР. Например, в ДЦУП таких ЛПР имеется не менее 10: старший диспетчер по управлению перевозками (ДГПС), диспетчеры — локомотивный (ДГПЛок), по местной работе (ДГПМ), по выделенным грузам (ДГПГр), пассажирским перевозкам (ДГППас), по окнам (ДГПОк), по районам управления (ДРУ), по направлениям (ДГП), поездные диспетчеры (ДНЦ) и др. У каждой такой категории ЛПР имеется индивидуальный набор ОУР. На первом этапе разработки АИУС следует выделить несколько категорий. Например, в ДЦУП, по нашему мнению, это ДГПС, ДГПЛок, ДРУ, ДГП и ДНЦ, поскольку они в наибольшей степени влияют на оперативный ход поездной работы.

На линейном уровне также имеются отдельные категории ЛПР — станционный (маневровый) диспетчер (ДСЦ), диспетчер по местной работе (ДСМ), дежурный по станции (ДСП). Здесь на первом этапе целесообразно остановиться на ДСП, поскольку именно по этой категории может быть достигнуто существенное расширение зон обслуживания.

Определение перечня ОУР при выполнении технологических процессов. Любой технологический процесс состоит из группы операций. Вследствие неравномерности их выполнения и изменения оперативной ситуации точно определить заранее действия ЛПР по условиям выполнения различных операций в ходе перевозочного процесса невозможно. Поэтому независимо от того, имеются затруднения в работе управляемого объекта или нет, ЛПР постоянно принимают множество ОУР для достижения рационального режима работы управляемого объекта.

Рассмотрим простой пример — группу операций, связанных с приемом поезда, следующего в переработку, в парк прибытия сортировочной станции

(от извещения о предстоящем прибытии поезда до надвига состава на горку). Перечень основных ОУР, принимаемых ДСП по ним, влияющие факторы и основания для приема рациональных ОУР представлены в табл. 2.

Из данного анализа можно сделать следующие выводы, относящиеся к ОУР, вырабатываемым дежурно-диспетчерским аппаратом:

- для выполнения одной технологической операции может приниматься множество ОУР (так, в рассмотренном примере по, казалось бы, простому действию — приему поезда с переработкой на сортировочную станцию — необходимо выработать не менее восьми ОУР);
- следует провести учет комплекса условий для выбора рациональных ОУР;
- должно быть обеспечено получение необходимой информации для учета влияющих условий;
- необходима разработка прогнозов развития ситуации на управляемом объекте в момент принятия ОУР, что требует разработки и функционирования в постоянном режиме детальной имитационной модели управляемого объекта;
- должен быть организован непрерывный детальный контроль за ходом работы управляемого объекта.

Определение перечня ОУР при затруднениях в эксплуатационной работе. Действие внутренних и внешних факторов (рис. 2) вызывает неопределенность оперативного хода перевозочного процесса с возможным нарушением выполнения нормативной технологии. Некоторые факторы (например, ОТС, БД, неблагоприятные погодные условия) сразу снижают наличную пропускную и перерабатывающую способность участков и станций. Другие факторы создают условия избыточного накопления вагонного парка с аналогичными нарастающими последствиями. Все это создает затруднения в эксплуатационной работе и требует принятия мер по стабилизации перевозочного процесса в виде ОУР, реализуемых как в сменно-суточных планах поездной и грузовой работы, так и в текущей деятельности различных категорий оперативного персонала.

При разработке ОУР необходимо заранее определить, какие меры (и соответствующие им ОУР) могут приниматься при различных затруднениях с учетом степени их влияния на работу полигона управления. Так, если на участковой станции произошел ОТС (например, отказ в работе одного из двух маневровых локомотивов), то ДСП за счет ОУР — некоторой задержки в выполнении местной работы — может обеспечить беспрепятственный прием и отправку поездов. Такое затруднение относится только к собственно участковой станции, и его не следует включать в перечень затруднений, по которым должен принимать ОУР поездной диспетчер (ДНЦ), в зону управления которого входит данная участковая станция.

Таблица 2

ОУР, принимаемые ДСП по операциям с поездом, прибывающим в расформирование (до надвига на горку)

Table 2

Operational control decisions taken by the station duty officer on operations with a train arriving to be dismantled (before moving train to hump)

Операции	Условия ОУР	Основания для ОУР
1. По прибытию поезда	1.1. Выбор пути приема поезда • соответствие длины поезда длине пути и специализации путей (опасные, негабаритные грузы и др.) • наличие в поезде вагонов, запрещенных к пропуску через горку • обеспечение максимальной параллельности маршрутов, особенно связанных с надвигом и роспуском состава	• информация о составе и времени прибытия поезда (предварительная, уточненная) • прогноз ситуации во входной горловине на ~0,3 ч • прогноз ситуации в предгорочной горловине на ~0,5–1,0 ч
	1.2. Определение времени подготовки маршрута приема и открытия входного сигнала • прием поезда является преимущественным маршрутом • выполнение максимального количества других маршрутов во входной горловине до времени открытия входного сигнала	• прогноз ситуации во входной горловине на ~0,3 ч
	1.3. Определение времени передачи информации работникам ПТО о номере пути и времени прибытия поезда • информация: предварительная и по факту прибытия	—
	1.4. Определение времени закрепления состава • по факту прибытия	—
2. Пропуск поезда локомотива (Л) в депо	2.1. Определение времени начала подготовки маршрута и открытия сигнала • максимальная параллельность маршрутов в предгорочной горловине	—
3. Заезд горочного локомотива (ЛГ) для надвига состава	3.1. Определение ЛГ (при работе нескольких ЛГ), выполняющего надвиг состава • освобождение ЛГ от выполнения других маневровых операций • минимизация перерывов в работе горки	• прогноз выполнения маневровых операций на ~0,3–0,5 ч
	3.2. Определение маршрута для операции «заезд» • свобода пути по маршруту • минимизация времени выполнения маневровой работы	• прогноз работы в парке прибытия и горловинах на ~0,3–0,5 ч
	3.3. Определение времени открытия сигналов по маршруту операции «заезд» • максимальная параллельность маневровых маршрутов • минимизация времени выполнения маневровой работы	• контроль фактического местоположения ЛГ

В случае если сортировочная станция начинает испытывать затруднения в работе горки, может потребоваться принятие ОУР поездным диспетчером в виде изменения чередования поступления на станцию поездов, следующих с переработкой и без переработки. В таких случаях станционное затруднение включается в перечень, по которым ОУР принимает ДНЦ.

Такой вид ОУР, как пропуск части поездопотока по параллельному ходу вследствие затруднений работы участка, относится полностью к компетенции ДГПС.

Таким образом, основными принципами определения перечня ОУР при затруднениях в эксплуатационной работе являются следующие:

- выбор типов затруднений, требующих принятия ОУР по категориям ЛПР; для первого этапа разработки АИУС такими категориями ЛПР являются ДГПС, ДГПлок, ДРУ, ДГП, ДНЦ и ДСП;

- определение по выбранным категориям ЛПР возможных ОУР применительно к типам затруднений.

Разработка перечня ОУР по категориям ЛПР позволит четко определить конкретные задачи при создании АИУС с переходом от АРМ, выполняющих информационные функции, к АРМ, выполняющим информационно-управляющие функции, назовем их АРМУ.

Имитационная модель работы управляемого объекта — основной инструмент выработки ОУР. Принятие ОУР требует учета многочисленных факторов, что возможно на основе построения имитационной модели (ИМ) управляемого объекта. При этом для каждой категории ЛПР следует разрабатывать ИМ с такой детализацией управляемого объекта, которая соответствует уровню и особенностям принимаемых ОУР. Так, для выработки ОУР на станционном уровне необходима информация о длине и специализации приемоотправочных путей, конструкции стрелочных горловин и их секционировании, скорости движения прибывающих поездов, точные данные о местонахождении

поездных и маневровых локомотивов, времени выполнения маневровых передвижений и др. На уровне ДГПС, ДРУ, ДНЦ в таких данных нет необходимости, но требуется большой объем информации о подходе поездов по стыкам, их передвижению по полигонам управления, планируемой погрузке и выгрузке по станциям и др. Совместить информацию, потребную для выработки ОУР для всех категорий ЛПР, в одной ИМ чрезвычайно сложно, да в этом и нет необходимости. Задача решается на основе создания ИМ для разных категорий ЛПР⁸, что рассматривалось в работах [13–16]. Основным требованием к таким моделям, приспособленным к решению задач выработки оперативных управляющих решений, является соответствие структуры модели, программного и информационного обеспечения перечню ОУР, вырабатываемых на рабочих местах ЛПР. При этом возможна разработка ИМ для близких по решаемым задачам ЛПР, например ДГПС и ДРУ. Этот вопрос можно решить при разработке АИУС только после определения полного перечня ОУР.

При разработке ИМ для уровня ДНЦ и выше следует использовать результаты, полученные в АО «ВНИИЖТ» при создании тренажера поездного диспетчера⁹. В нем предусмотрена выработка ОУР, принимаемых ДНЦ о плане прокладки поездов с учетом воздействия различных реально действующих факторов: текущего положения поездов (информация из ГИД «УралВНИИЖТ»); непредусмотренного в НГДП занятия приемоотправочных путей, например, временно отставленными от движения поездами; изменения перегонных времен хода из-за возникших новых ограничений ходовой скорости движения поездов и др. (рис. 8).

Прогнозирование состояния управляемого объекта. Неопределенность хода перевозочного процесса вызывает необходимость и одновременно трудность выполнения прогноза состояния управляемых объектов, особенно многосуточного, без которого невозможно заблаговременно разрабатывать меры по регулированию поездо- и вагонопотоков, а также регулирование локомотивов на участках их оборота. Известны работы в этом направлении [3, 15]. Однако в них используются в основном средние значения скорости перемещения поездо- и вагонопотоков по полигонам сети, что не соответствует реальным условиям (рис. 5). Поэтому требуется

выполнение исследований с разработкой новых методик прогнозирования (в том числе многосуточного), максимально учитывающих неопределенность хода перевозочного процесса в оперативном режиме.

Снижение влияния неопределенности перевозочного процесса на работу управляемых объектов. Имеются три основных способа решения данной задачи.

Первый способ связан со снижением количества и последствий различных возмущающих воздействий. Такая работа в ОАО «РЖД» ведется постоянно, в частности по группам факторов — ОТС, ТН, БД (рис. 2). Следует изучить возможности снижения количества возмущающих воздействий, а также их последствий и по другим группам факторов.

Второй способ — разработка и осуществление мер по снижению уровня неравномерности перевозочного процесса. Здесь необходимо выполнение исследований по определению возможности координации работы операторов вагонного парка в части организации календарной погрузки и направления порожних вагонов получателям, маршруты движения вагонов к которым проходят по наиболее загруженным направлениям сети. Требуется повысить согласованность предоставления «окон» для ремонтно-реконструктивных работ «в створе». Необходима разработка методов смягчения неравномерности поездопотоков на основе их регулирования, например, за счет оперативной корректировки плана формирования поездов, использования параллельных ходов и других мер оперативного регулирования. Это позволит снизить уровень несоответствия пропускной и перерабатывающей способности образующимся в отдельные периоды повышенным размерам движения.

Третий способ — создание резервов пропускной и перерабатывающей способности, тяговых ресурсов и емкости путевого развития. В [12] было показано, что при современном уровне посуточной неравномерности поездопотоков для обеспечения устойчивой эксплуатационной работы требуется примерно 20 % резерва производственных мощностей. К этому показателю следует стремиться. Множественность операторов вагонного парка требует также создания резервных емкостей путевого развития. Следует рассмотреть вопрос о повышении экономической заинтересованности операторов в образовании таких резервов.

⁸ Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022617512 Российская Федерация. Программный комплекс имитационного моделирования железнодорожных перевозок: № 2022616306: заявл. 08.04.2022; опубл. 21.04.2022 / Виноградов С. В., Мехедов М. И., Мугинштейн Л. А. [и др.]; заявитель Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта. EDN: <https://www.elibrary.ru/wcnqij>.

⁹ Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024660819 Российская Федерация. Специализированный тренажер обучения поездного диспетчера (СТПД): № 2024619666: заявл. 02.05.2024; опубл. 13.05.2024 / Виноградов С. А., Мехедов М. И., Мугинштейн Л. А. [и др.]; заявитель Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта. EDN: <https://www.elibrary.ru/znwauz>.

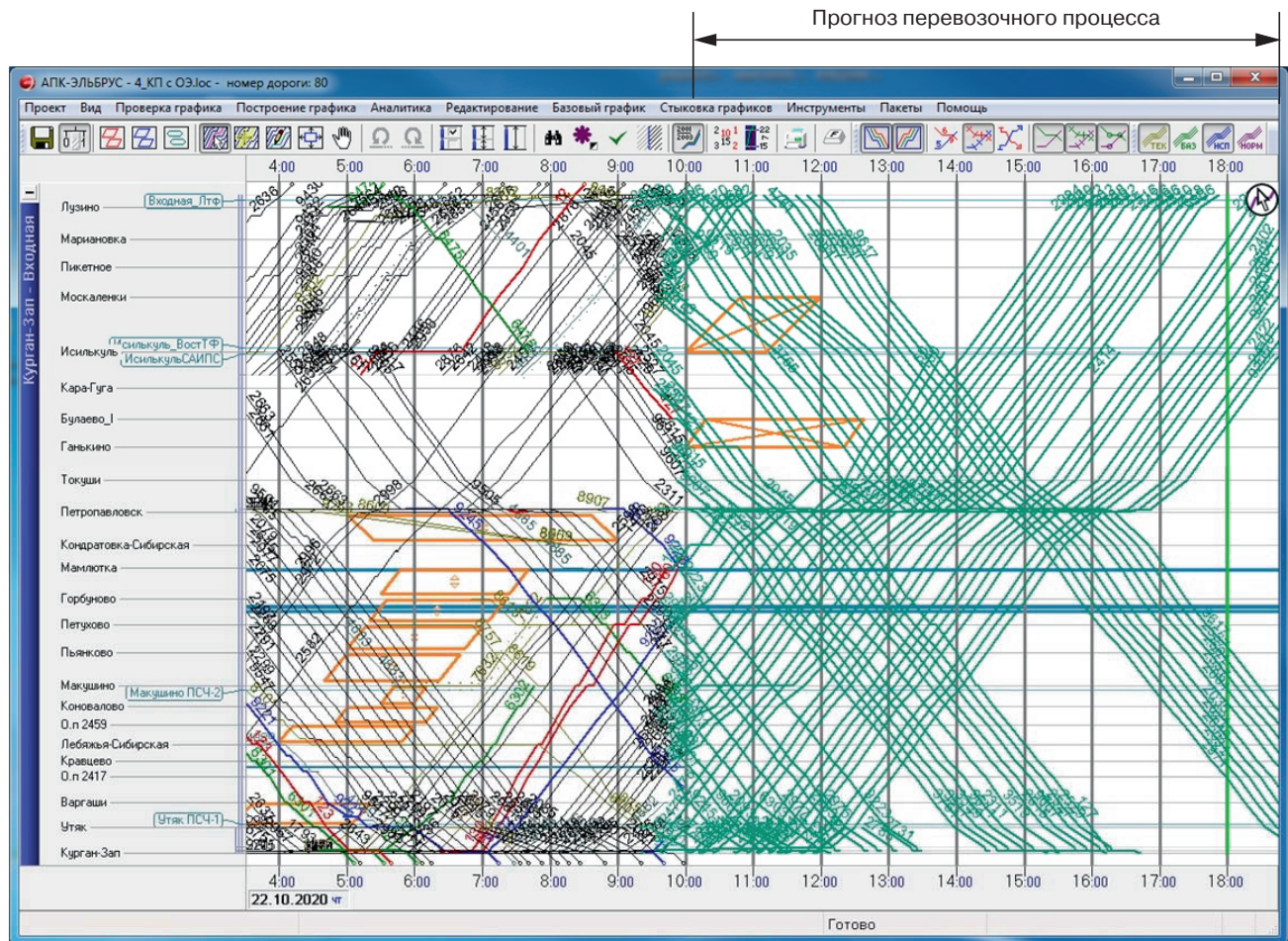


Рис. 8. Автоматизированная выработка ОУР (зеленые нитки поездов) для ДНЦ по пропуску поездов при изменении оперативной обстановки на участке

Fig. 8. Automated generation of operational control decisions (green train threads) for train dispatchers to pass trains in case of changes in the operational situation on the section

Организация разработки и внедрения АИУС. Необходимо разработка наукоемкой, фондоемкой, поэтапной программы работ, предусматривающей:

- разработку концепции АИУС, обеспечивающей достижение конечного результата в виде автоматизированной выработки на АРМУ рациональных ОУР оперативным персоналом с поэтапным расширением состава ЛПР;
- проведение комплекса исследований по определению состава задач, решаемых на АРМУ с использованием технико-экономических методов;
- разработку новых методов прогнозирования применительно к категориям ЛПР, в том числе многосуточного, максимально учитывающих влияние внутренних и внешних факторов, вызывающих неопределенность оперативного хода перевозочного процесса;
- разработку иерархических ИМ работы управляемых объектов применительно к АРМУ;

• создание алгоритмического и программного обеспечения АРМУ — на первом этапе для типовых рабочих мест по выделенным категориям ЛПР — ДГПС, ДГПЛок, ДРУ, ДНЦ и ДСП с последующим их внедрением на пилотных полигонах сети и распространением на всю сеть железных дорог и на отраслевые дирекции, непосредственно связанные с выполнением перевозочного процесса в оперативном режиме.

Обсуждение и заключение. Следует ожидать достижения эффекта по двум основным составляющим.

Первая составляющая — сокращение на основе оптимизации ОУР текущих затрат, связанных с преодолением затруднений в эксплуатационной работе, особенно в случаях, требующих: временной остановки поездов от движения; отклонения поездопотоков на параллельные ходы; принятия сложных решений в части регулирования локомотивных парков и

локомотивных бригад; выбора очередности следования поездов и выполнения враждебных маршрутов.

Сегодня за крайне ограниченное выделенное на выработку ОУР время дежурно-диспетчерский персонал должен оценить текущее состояние перевозочного процесса на управляемом объекте, выполнить прогноз его развития при возможных вариантах ОУР и выбрать из них оптимальное или близкое к нему решение. Понятно, что любой дежурный или диспетчер самостоятельно при этом выполнить какие-либо сложные и тем более технико-экономические расчеты не в состоянии. Поэтому практически все ОУР принимаются на основе знаний, накопленного опыта и интуиции ЛПР. Качество ОУР при этом во многом зависит от индивидуальных способностей ЛПР. В одинаковых простых ситуациях ОУР могут быть одинаковыми у разных ЛПР, а в сложных — часто нет. Именно поэтому в коллективах есть дежурные и диспетчеры, достигающие лучших показателей.

Но и такие лучшие решения не всегда обеспечивают достижение оптимальных результатов и минимизацию расходов. Это показали, например, исследования, выполненные АО «ВНИИЖТ» по разработке энергоэффективного графика движения грузовых поездов [17]. Были выполнены опытные поездки с машинистами, достигающими наилучших результатов по экономии энергии. При этом установлено, что полученная экономия энергии в таких поездках меньше на 2–3 %, а в отдельных поездках на 3–5 %, той экономии, которая могла бы быть получена при использовании разработанной в АО «ВНИИЖТ» автоматизированной системы принятия оптимальных управляющих решений по режимам ведения поезда, учитывающей достижение минимума расхода энергии при соблюдении нормативного расписания и нормативной участковой скорости. Выполненные исследования [14, 15] показали значительный эффект при оптимизации управляющих решений при затруднениях в эксплуатационной работе. Поэтому снижение в целом текущих затрат по первой составляющей технико-экономического эффекта можно оценить величиной не менее 5–10 %.

Вторая составляющая эффекта — расширение зон обслуживания дежурно-диспетчерского аппарата — может быть принята на экспертном уровне равной 15–20 %. На первом этапе внедрения АИУС все разрабатываемые системой ОУР должны передаваться оперативному персоналу, за которым сохраняется окончательное решение. В дальнейшем будет определено, какие из ОУР не требуют проверки. По таким ОУР затраты времени ЛПР будут минимальными. По остальным время на выработку ОУР также сократится. Поэтому уровень загрузки

персонала снизится. Это и послужит основанием для расширения зон обслуживания. Для поездных диспетчеров возможно удлинение диспетчерских участков, а для станций — объединение управления нескольких станций одним дежурным по станции. Многое здесь, конечно, зависит от местных условий. В современных ситуациях при дефиците рабочей силы расширение зон обслуживания является важнейшей составляющей эффективности ОУР.

Таким образом, разработка АИУС позволит повысить технико-экономическую эффективность работы подразделений ОАО «РЖД» в целом.

Финансирование: авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Funding: the authors received no financial support for the research, authorship, and publication of this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest and no financial interests in any material discussed in this article.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Бусленко Н. П. Математические модели производственных процессов. М.: Наука, 1964. 362 с.
Buslenko N. P. *Mathematical models of production processes*. Moscow: Nauka Publ.; 1964. 362 p. (In Russ.).
2. Лернер А. Я. Начало кибернетики. М.: Наука, 1967. 400 с.
Lerner A. Ya. *Fundamental cybernetics*. Moscow: Nauka Publ.; 1967. 400 p. (In Russ.).
3. Бусленко Н. П., Калашников В. В., Коваленко И. Н. Лекции по теории сложных систем. М.: Советское радио, 1973. 439 с.
Buslenko N. P., Kalashnikov V. V., Kovalenko I. N. *Lectures on Complex System Theory*. Moscow: Sovetskoye radio Publ.; 1973. 439 p. (In Russ.).
4. Левин Д. Ю. Теория оперативного управления перевозочным процессом: монография. М.: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2008. 624 с. EDN: <https://www.elibrary.ru/qnvvvr>.
5. Поплавский А. А. Автоматизированная система управления перевозочным процессом железнодорожного транспорта в оперативном режиме (сетевой и региональный уровни). М.: Интекст, 2008. 192 с. EDN: <https://www.elibrary.ru/qnvwwz>.
6. Мугинштейн Л. А., Мехедов М. И. Методические подходы к выявлению факторов, влияющих на стабильность пропуска поездопотоков // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2014. № 2. С. 24–33. EDN: <https://www.elibrary.ru/tolgzt>.

Muginshteyn L. A., Mekhedov M. I. Methodological approaches to revelation of factors influencing the stability of train flow handling. *Russian Railway Science Journal*. 2014;(2):24–33. (In Russ.). EDN: <https://www.elibrary.ru/tolgzt>.

7. Козлов П. А., Осокин О. В., Тушин Н. А. Построение интеллектуальной информационной среды на железнодорожном транспорте // *Инновационный транспорт*. 2011. № 1(1). С. 6–9. EDN: <https://www.elibrary.ru/pivmsf>.

Kozlov P. A., Osokin O. V., Tushin N. A. Designing a smart information environment on the railway transport. *Innotrans*. 2011;(1):6–9. (In Russ.). EDN: <https://www.elibrary.ru/pivmsf>.

8. Васильев А. Б., Котенко А. Г., Прокофьева В. В. Разработка алгоритма поддержки принятия решений поездного диспетчера при организации движения поездов // *Вестник транспорта Поволжья*. 2014. № 1(43). С. 52–56. EDN: <https://www.elibrary.ru/spsuip>.

Vasil'ev A. B., Kotenko A. G., Prokof'eva V. V. Development of the algorithm of the train dispatchers decision-making support when organising train traffic. *Vestnik transporta Povolzhya*. 2014;(1):52–56. (In Russ.). EDN: <https://www.elibrary.ru/spsuip>.

9. Сотников Е. А., Холодник П. С. Рациональная технология временной отстановки поездов от движения // *Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ)*. 2019. Т. 78, № 1. С. 3–9. <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2019-78-1-3-9>.

Sotnikov E. A., Kholodnyak P. S. Cost-effective technology of temporary setting trains aside from the traffic. *Russian Railway Science Journal*. 2019;78(1):3–9. (In Russ.). <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2019-78-1-3-9>.

10. Сотников Е. А., Холодник П. С. Преодоление временных затруднений в ходе перевозочного процесса // *Железнодорожный транспорт*. 2019. № 9. С. 18–22. EDN: <https://www.elibrary.ru/avqpgb>.

Sotnikov E. A., Kholodnyak P. S. Overcoming temporary difficulties in transportation. *Zhelezнодорожный транспорт*. 2019;(9):18–22. (In Russ.). EDN: <https://www.elibrary.ru/avqpgb>.

11. Угрюмов А. К. Неравномерность движения поездов. М.: Транспорт, 1968. 112 с.

Ugryumov A. K. *Irregularity of train traffic*. Moscow: Transport Publ.; 1968. 112 p. (In Russ.).

12. Шенфельд К. П., Сотников Е. А. Развитие методов управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте в современных условиях. М.: Научный мир, 2015. 200 с. EDN: <https://www.elibrary.ru/vkanpp>.

Shenfel'd K. P., Sotnikov E. A. *Development of railway transportation management methods in modern conditions*. M.: Nauchnyy mir Publ.; 2015. 200 p. (In Russ.). EDN: <https://www.elibrary.ru/vkanpp>.

13. Сотников Е. А., Ивницкий В. А., Ольшанский А. М. Принципы интеллектуализации оперативного управления перевозочным процессом железнодорожного транспорта общего пользования // *Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ)*. 2014. № 2. С. 40–47. EDN: <https://www.elibrary.ru/tolhan>.

Sotnikov E. A., Ivnitkiy V. A., Ol'shanskiy A. M. Intellectualization concept of operating traffic management of public railway transport. *Russian Railway Science Journal*. 2014;(2):40–47. (In Russ.). EDN: <https://www.elibrary.ru/tolhan>.

14. Козлов П. А., Осокин О. В., Колокольников В. С. Исследование проектов развития железнодорожных станций и полигонов с помощью имитационного моделирования // *Железнодорожный транспорт*. 2018. № 6. С. 12–16. EDN: <https://www.elibrary.ru/xpuiah>.

Kozlov P. A., Osokin O. V., Kolokol'nikov V. S. Study of railway station and polygon development projects using simulation modelling. *Zhelezнодорожный транспорт*. 2018;(6):12–16. (In Russ.). EDN: <https://www.elibrary.ru/xpuiah>.

15. Тулупов Л. П. Управление перевозками на участках и направлениях // *Железнодорожный транспорт*. 2003. № 4. С. 50–54.

Tulupov L. P. Transportation management on sections and directions. *Zhelezнодорожный транспорт*. 2003;(4):50–54. (In Russ.).

16. Инновационный проект «Эльбрус» / Л. А. Мугинштейн [и др.] // *Железнодорожный транспорт*. 2013. № 12. С. 18–25. EDN: <https://www.elibrary.ru/rmtbfp>.

Muginshteyn L. A., Vinogradov S. A., Kiryakin V. Yu., Lyashko O. V., Anfinogenov A. Yu., Yabko I. A. Elbrus Innovations Project. *Zhelezнодорожный транспорт*. 2013;(12):18–25. (In Russ.). EDN: <https://www.elibrary.ru/rmtbfp>.

17. Мугинштейн Л. А., Илютович А. Е., Ябко И. А. Энергооптимальный тяговый расчет движения поезда // *Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ)*. 2013. № 6. С. 3–13. EDN: <https://www.elibrary.ru/tolgrt>.

Muginshteyn L. A., Ilyutovich A. E., Yabko I. A. Mimimum energy consumption based train performance calculation. *Russian Railway Science Journal*. 2013;(6):3–13. (In Russ.). EDN: <https://www.elibrary.ru/tolgrt>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Михаил Иванович МЕХЕДОВ,

канд. техн. наук, заместитель генерального директора, директор научного центра «Цифровые модели перевозок и технологии энергосбережения» (НЦ «ЦМПЭ»), Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ, 129626, г. Москва, ул. 3-я Мытищинская, д. 10), Author ID: 1019989, <https://orcid.org/0000-0002-8174-214X>

Евгений Александрович СОТНИКОВ,

д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник, Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ, 129626, г. Москва, ул. 3-я Мытищинская, д. 10), Author ID: 493861, <https://orcid.org/0000-0003-0852-993X>

Павел Сергеевич ХОЛОДНЯК,

начальник отдела, НЦ «ЦМПЭ», Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ, 129626, г. Москва, ул. 3-я Мытищинская, д. 10), Author ID: 951876, <https://orcid.org/0000-0002-5469-7419>

Сергей Валентинович ЛОБАНОВ,

аспирант, начальник отдела, НЦ «ЦМПЭ», Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ, 129626, г. Москва, ул. 3-я Мытищинская, д. 10), Author ID: 1144636

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Mikhail I. MEHEDOV,

Cand. Sci. (Eng.), Deputy General Director, Director of the Digital Models of Transportation and Energy Saving Technologies Research Centre, Railway Research Institute (129626, Moscow, 10, 3rd Mytishchinskaya St.), Author ID: 1019989, <https://orcid.org/0000-0002-8174-214X>

Evgeniy A. SOTNIKOV,

Dr. Sci. (Eng.), Professor, Chief Researcher, Railway Research Institute (129626, Moscow, 10, 3rd Mytishchinskaya St.), Author ID: 493861, <https://orcid.org/0000-0003-0852-993X>

Pavel S. KHOLODNYAK,

Head of Department, Digital Models of Transportation and Energy Saving Technologies Research Centre, Railway Research Institute (129626, Moscow, 10, 3rd Mytishchinskaya St.), Author ID: 951876, <https://orcid.org/0000-0002-5469-7419>

Sergey V. LOBANOV,

Postgraduate, Head of Department, Digital Models of Transportation and Energy Saving Technologies Research Centre, Railway Research Institute (129626, Moscow, 10, 3rd Mytishchinskaya St.), Author ID: 1144636

ВКЛАД АВТОРОВ

Михаил Иванович МЕХЕДОВ. Обоснование необходимости перехода к информационно-управляющим системам перевозочного процесса, определение задач, требующих первоочередного решения (25%).

Евгений Александрович СОТНИКОВ. Разработка вопросов неопределенности хода перевозочного процесса и метода учета этого фактора в оперативном управлении. Написание статьи (45 %).

Павел Сергеевич ХОЛОДНЯК. Разработка условия воздействия внутренних и внешних факторов на перевозочный процесс, их технико-экономической оценки при оперативном управлении (20%).

Сергей Валентинович ЛОБАНОВ. Разработка программы тренажера для поездного диспетчера (10%).

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Mikhail I. MEHEDOV. Justification of the transition to information and control systems for transportation, determination of priority tasks (25%).

Evgeniy A. SOTNIKOV. Development of the issues of uncertainty of the transportation process and consideration of this factor in operational management, article writing (45 %).

Pavel S. KHOLODNYAK. Development of the condition of influence of internal and external factors on transportation, their technical and economic feasibility in operational management (20 %).

Sergey V. LOBANOV. Development of a train dispatcher simulation programme (10%).

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

The authors have read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 20.05.2024, рецензия от первого рецензента получена 20.06.2024, рецензия от второго рецензента получена 25.06.2024, рецензия от третьего рецензента получена 15.07.2024, принята к публикации 30.07.2024.

The article was submitted 20.05.2024, first review received 20.06.2024, second review received 25.06.2024, third review received 15.07.2024, accepted for publication 30.07.2024.

ПОДПИСКА

«Вестник ВНИИЖТ» ГДЕ подписаться?

Подписку на научно-технический журнал «Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта» («Вестник ВНИИЖТ») можно оформить в любом почтовом отделении связи по Объединенному каталогу «Пресса России», том 1 или агентствах по распространению печатных изданий «Урал-Пресс», АРЗИ и др.

Подписной индекс журнала — 70116.

Также можно оформить подписку (годовую и полугодовую) на договорных условиях в редакции. Адрес редакции журнала: 129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10, тел.: +7 (495) 602-84-56, e-mail: journal@vniizht.ru. Информация о подписке размещена на сайте журнала www.journal-vniizht.ru.

Подписчики стран ближнего и дальнего зарубежья могут оформить подписку на журнал «Вестник ВНИИЖТ» в агентстве «Урал-Пресс» (Ural-Press, export@ural-press.ru).