



## Информация об авторах

*Клюка Владислав Петрович* – к. т. н., доцент, заведующий кафедрой вагонов, вагонного хозяйства, Омский государственный университет путей сообщения, г. Омск, e-mail: vklyuka@mail.ru

*Сергеев Павел Борисович* – к. т. н., доцент кафедры вагонов, вагонного хозяйства, Омский государственный университет путей сообщения, г. Омск, e-mail: sergeevpb78@mail.ru

*Мосол Сергей Андреевич* – инженер, заведующий лабораторией кафедры вагонов, вагонного хозяйства, Омский государственный университет путей сообщения, г. Омск, e-mail: bam1979-2005@yandex.ru

## Authors

*Vladislav Petrovich Klyuka* – Assoc. Prof., head of the Subdepartment of Railway Cars and Car Enterprise, Omsk State Transport University, e-mail: vklyuka@mail.ru

*Pavel Borisovich Sergeev* – Assoc. Prof. at the Subdepartment of Railway Cars and Car Enterprise, Omsk State Transport University, e-mail: sergeevpb78@mail.ru

*Sergei Andreevich Mosol* – engineer, head of laboratory at the Subdepartment of Railway Cars and Car Enterprise, Omsk State Transport University, e-mail: bam1979-2005@yandex.ru

## Для цитирования

Клюка В. П. Оценка обеспечения удержания стояночным тормозом на нормируемом уклоне инновационного полувагона с нагрузкой 27 т от колесной пары на рельс / В. П. Клюка, П. Б. Сергеев, С. А. Мосол // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2019. – Т. 62, № 2. – С. 150–155. – DOI: 10.26731/1813-9108.2019.2(62).150–155

## For citation

Klyuka V. P., Sergeev P. B., Mosol S. A. Otsenka obespecheniya uderzhaniya stoyanochnym tormozom na normiruемом uklone innovatsionnogo poluvagona s nagruzkoj 27 t ot kolesnoi pary na rel's [Assessing the stopping brake retention guarantee for an innovative gondola car on the standardized down grade with a 27 t load from the wheelset to the rail]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2019. Vol. 62, No. 2. Pp. 150–155. DOI: 10.26731/1813-9108.2019.2(62).150–155

УДК 629.46:629.45:629.4077

DOI: 10.26731/1813-9108.2019.2(62).155–166

**Е. В. Маловецкая**

*Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация*

*Дата поступления: 30 марта 2019 г.*

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ПРИНЯТИИ РЕШЕНИЙ ПО ОПЕРАТИВНОЙ КОРРЕКТИРОВКЕ ПЛАНА ФОРМИРОВАНИЯ ДИСПЕТЧЕРСКИМ АППАРАТОМ СТАНЦИЙ И РЕГИОНАЛЬНЫХ ДИРЕКЦИЙ

**Аннотация.** В последнее время неоднократно поднимался вопрос об увеличении транзитности вагонопотоков. Он требует принятия новых технологических решений, реализуемых на полигонах курсирования, созданных по принципам планирования на предстоящий период (в разрезе года, месяца, суток, смены) с учетом уменьшения влияния человеческого фактора за счет логической связности выходов и входов подпроцессов, а также применения организации перевозок грузов повагонными отправками в составах многогруппных поездов, следующих на протяженных маршрутах с обменом отдельных вагонных групп на сортировочных станциях, и встречающихся по пути следования в контексте совмещенного расписания для всех станций полигонов с использованием технологий Цифровой железной дороги. В связи с этим требуется определить список основных показателей, разработанных индивидуально для каждой железной дороги сети, а также полигонов, которые будут закреплены, а по необходимости корректироваться исходя из внешних и внутренних факторов. Необходимо отметить, что на сегодняшний день особо остро стоят вопросы о разработке пошаговой инструкции по принятию решений по оперативной корректировке плана формирования диспетчерским аппаратом станций и региональных дирекций с перечнем порядка действий по выработке предложений и их согласованию. Полный комплекс мероприятий по изменению структуры эксплуатационных показателей требует включения построения процессных моделей производственно-го блока холдинга «Российские железные дороги», а также создания инновационной системы эксплуатационных показателей полигонов. Требуется в кратчайшие сроки установить перечень показателей, которые будут подвержены наблюдению и контролю в сложившихся условиях, что позволит систематизировать процесс контроля принятия решений, обеспечив его адекватной информацией.

**Ключевые слова:** транзитные вагонопотоки, модели поездобразования, провозная способность, повышение норм веса на участке, вес поезда, гарантийные расстояния, параметр накопления, участковая скорость, техническая скорость, вагонный парк, стыковые пункты, провозная способность, пропускная способность, отказы технических средств, показатели эксплуатационной работы.



*E. V. Malovetskaya*

*Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation*

*Received: March 30, 2019*

## THE USE OF IMITATION MODELING FOR DECISION-MAKING ON IMMEDIATE CORRECTION OF THE PLAN OF STATIONS AND REGIONAL DIRECTORATES FORMED BY THE DISPATCHER OFFICE

**Abstract.** *Recently, the possibility of increasing the transit flow of traffic flows has been repeatedly raised. This requires new technological solutions implemented at established polygons according to planning principles for the forthcoming period in the context of year, month, day, shift, taking into account the reduction of the human factor due to logical connectivity of the inputs and outputs of subprocesses, as well as the use of the organization of the carload freightage during the operation of multigroup trains traveling along extended routes with an exchange of individual car groups at the distributing stations encountered on the way, in the context of the combined schedule for all the polygon stations using Digital railway technologies. In this regard, it is required to determine the list of basic indicators developed individually for each network railroad, as well as polygons to be fixed, and, if necessary, be adjusted based on external and internal factors. It should be noted that today, problems of developing step-by-step instructions for making decisions on the immediate adjustment of the plan for the formation of stations and regional directorates by the dispatcher office with a list of procedures for the development of proposals and their coordination are particularly relevant. A full set of measures on changing the structure of operational indicators requires involving the building of process models for the production unit of the Russian Railways holding, as well as the creation of an innovative system of operational indicators for polygons. It is required in the shortest possible time to establish the list of indicators that will be subject to observation and control in the current conditions, which will allow systematizing the decision-making control process, providing it with adequate information.*

**Keywords:** *transit traffic volumes, train formation models, carrying ability, increase in norms of weight on the section, the train weight, guarantee distances, accumulation parameter, service speed, operating speed, the car fleet, transfer of cars on division points, carrying ability, capacity, failures of technical means, indicators of operational work.*

### Введение

Провозная способность всего полигона в целом напрямую зависит от числа ограничивающих участков в независимости от рода этих ограничений (технические, технологические, организационные).

Так, появление любой проблемной ситуации на Дальнем Востоке, Забайкальской или Восточно-Сибирской железной дороге достаточно быстро затронет соседние магистрали. Поэтому предоставление всем подразделениям необходимых ресурсов в самом широком понимании этого термина должно стать главным требованием.

Остановимся более детально на Восточном полигоне, самом передовом на всей сети.

Эксплуатационная длина железных дорог восточного полигона составляет 17 207 км, в том числе длина электрифицированных линий 9 196 км (53,4 %). Доля двухпутных линий – 7 525 км (43,7 %).

Основные направления оборудованы автоматической блокировкой – 12 144 км (70,6 %). Полуавтоматической блокировкой оборудовано 29,4 % линий. Диспетчерской централизацией оборудовано 9 669 км (56,2 %). На полигоне имеется 810 железнодорожных станций, в том числе 8 сортировочных, 6 пассажирских, 58 участковых, 109 грузовых, 629 промежуточных.

На станциях имеется 11 694 станционных пути, в том числе 1 839 главных, 4 210 приемоправочных, 648 сортировочных. Из общего числа

стрелочных переводов (26 837), централизованных 24 066. В пределах каждой из четырех железных дорог восточного полигона в организации перевозочного процесса и содержании технических средств для его выполнения участвуют структурные подразделения производственно-хозяйственного блока ОАО «РЖД»:

- Центральная дирекция управления движением (ЦД);
- Центральная дирекция инфраструктуры (ЦДИ);
- Дирекция тяги (ДТ);
- Центральная дирекция по ремонту пути (ЦДРП);
- Центральная дирекция по ремонту тягового подвижного состава (ЦТР);
- Центральная станция связи (ЦОС ЦСС);
- Дирекция комплексной реконструкции железных дорог и строительству объектов железнодорожного транспорта (ДКРС);
- Дирекция капитального ремонта и реконструкции объектов электрификации и электрооборудования (ДКРЭ).

Управление движением поездов осуществляется на 59 диспетчерских участках, которые входят в 4 диспетчерских центра управления перевозками (ДЦУП).

На полигоне имеется 34 эксплуатационных локомотивных депо (ТЧЭ) и 27 сервисных локомотивных депо. Техническое обслуживание вы-



полняют 40 пунктов технического обслуживания локомотивов (ПТОЛ), в том числе 9 сетевого значения.

Приписной парк локомотивов грузовых серий составляет около 2,5 тыс. ед., из которых 70 % – электровозы. Используются удлиненные участки обращения локомотивов (УОЛ) длиной до 2–3,5 тыс. км и участки работы локомотивных бригад (УРЛБ) длиной до 200–500 км. В локомотивные бригады входит порядка 28,7 тыс. чел. На полигоне имеется 35 участков со сложным профилем пути, на которых для реализации унифицированных весовых норм организовано движение грузовых поездов с подталкиванием. Полигоны, плечи и участки обращения локомотивов, обслуживающие их серии электровозов и тепловозов, пункты проведения ТО-2, а также участки работы локомотивных бригад (границы и длины) определены в Технологии управления тяговыми ресурсами на восточном полигоне, утвержденной распоряжением ОАО «РЖД» от 23 марта 2016 № 5Юр. На основных направлениях полигона действуют критические нормы веса грузовых поездов в соответствии с приказами региональных дирекций тяги.

На полигоне имеется 15 эксплуатационных вагонных депо. Плечи гарантийного проследования грузовых вагонов составляют до 1 300–1 400 км.

На полигоне функционирует 4 центра управления содержанием инфраструктуры (ЦУСИ).

На основании полученных от ЦФТО плановых междорожных корреспонденций вагонопотоков и перевозок через сухопутные погранпереходы и порты, в ЦД производится расчет технических норм российских железных дорог и восточного полигона.

Результаты расчета направляются в ЦУП ВП и в дирекции управления движением для последующего расчета технических норм на региональном уровне.

Расчет технических норм работы парка грузовых вагонов на региональном уровне производится дирекциями управления движением по следующим показателям:

– погрузка в вагонах с детализацией по родам подвижного состава (крытые, платформы, полувагоны, цистерны, рефрижераторы, цементовозы, зерновозы, минераловозы, фитинговые платформы, прочие и всего);

– выгрузка в вагонах с детализацией по родам подвижного состава (крытые, платформы, полувагоны, цистерны, рефрижераторы, цементовозы, зерновозы, минераловозы, фитинговые платформы, прочие, всего);

– регулировочные разрывы по родам подвижного состава (крытые, платформы, полувагоны, цистерны, цементовозы, зерновозы, минераловозы, фитинговые платформы и пр.);

– передача груженых и порожних вагонов по стыковым пунктам между РУД железных дорог;

– оборот грузового вагона (общий, транзитного вагона, местного вагона, порожнего вагона) с детализацией по родам подвижного состава (крытые, платформы, полувагоны, цистерны, рефрижераторы, цементовозы, зерновозы, минераловозы, фитинговые платформы, прочие, всего);

– рабочий парк грузовых вагонов (общий, транзитный, местный, порожний) с детализацией по родам подвижного состава (крытые, платформы, полувагоны, цистерны, рефрижераторы, цементовозы, зерновозы, минераловозы, фитинговые платформы, прочие и всего);

– наличие груженых вагонов по стыковым пунктам железных дорог.

Технические нормы рассчитываются в границах формирования плана погрузки.

Для поездной работы характерно наличие больших транзитных поездопотоков, следующих на значительные расстояния. На многих участках имеет место существенный объем местной работы.

Перевозочная работа на восточном полигоне характеризуется постоянным увеличением грузооборота со следованием основного потока грузов в морские торговые порты Восточный, Находка, Ванино, Владивосток, Посыет. Увеличиваются размеры передачи грузов через погранпереходы. Имеет место высокий уровень заполнения наличной пропускной способности участков.

Предусматривается дальнейший рост объемов погрузки в порты Дальнего Востока с увеличением грузопотока по Транссибу и БАМу на 30 % в перспективе до 2020 г.

В целях освоения планируемых объемов перевозок грузов осуществляется инвестиционный проект «Модернизация железнодорожной инфраструктуры Байкало-Амурской и Транссибирской железнодорожных магистралей с развитием пропускных и провозных способностей» (распоряжение Правительства Российской Федерации от 24 октября 2014 № 2116р), которым предусмотрено существенное повышение пропускной и провозной способности участков на основных направлениях восточного полигона. Это требует выполнения значительных объемов строительно-монтажных работ с предоставлением «окон» для реконструкции и ремонта инфраструктуры.

При организации эксплуатационной работы требуется учитывать сложный план и профиль пу-



ти на многих участках, суровые климатические условия на значительной части восточного полигона.

Обеспечение подразделений ресурсами необходимо подкрепить реализацией соответствующих технологически достаточных организационных построений в границах Восточного полигона. В качестве примера можно рассмотреть работу энергетического тягового хозяйства, как основного стимулирующего фактора к дальнейшему повышению транзитного потенциала Транссиба.

Например, на перегонах Ния- – Небель и Небель – Киренга из-за проблем с системой энергоснабжения одновременно может находиться только один тяжеловесный поезд. Из-за недостаточного путевого развития промежуточных станций направления Лена – Хани возникают затруднения с обгоном и скрещением поездов, следующих в пакете. Следовательно, первоначально необходимо провести ряд комплексных мероприятий по увеличению мощности железнодорожного направления [1–7].

Дальнейшая система пропуска тяжеловесных поездов, имеющих повышенную длину, в большом объеме будет реализована после снятия ограничений инфраструктуры, в первую очередь по устройствам тягового электроснабжения и контактной сети.

Все последующие инвестиции должны быть поддержаны, доказаны с научной точки зрения и обеспечены эффективными технологиями организации движения грузов от мест погрузки до конечных пунктов.

Необходимо также отметить факт снижения участковой скорости и производительности локомотива в текущем году на Восточном полигоне, и это имеет объективное обоснование. Показана динамика выполнения участковой скорости в 2018 г. (рис. 1).

По итогам работы за 2 месяца отставание по участковой скорости от установленного норматива составляло 1,0 км/ч. Начиная с марта дорогой при серьезном росте объема перевозок в условиях максимальной нагрузки по количеству пропускаемых

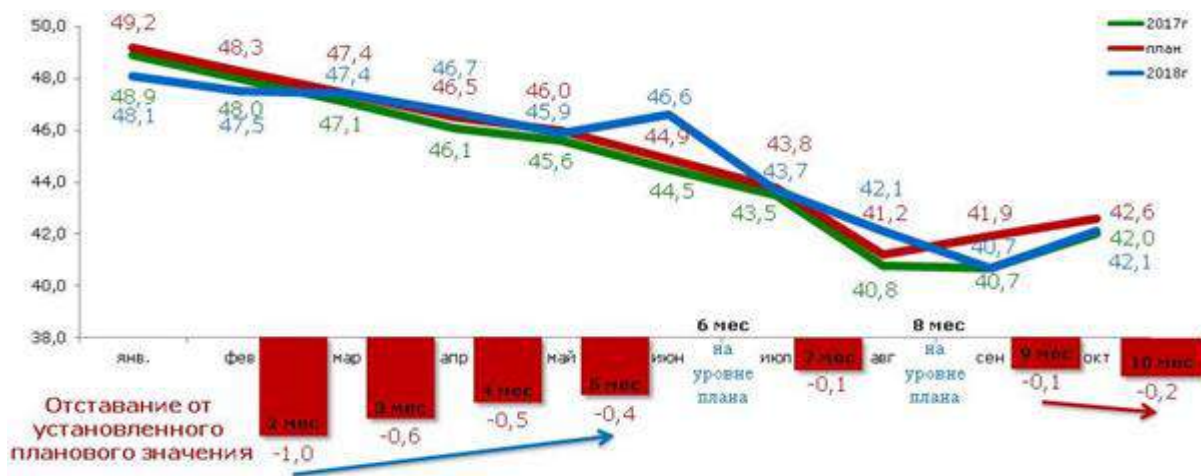


Рис. 1. Динамика выполнения участковой скорости в 2018 г. на Восточном полигоне



Рис. 2. Посуточная динамика изменения наличия вагонного парка в сентябре – октябре 2018 г. на Восточном полигоне



поездов в период летне-путевой компании была обеспечена устойчивая динамика на сокращение потерь, и по итогам работы за 8 месяцев дорога вошла в план.

Последние два месяца (сентябрь и октябрь) привели к снижению скорости продвижения поездопотока.

Необходимо отметить, что по состоянию на 20 сентября текущего года дорога выполняла плановое задание по участковой скорости на 100,4 % (при плане 45,4 км/ч, факт – 45,6 км/ч + 0,2 км/ч), а отставание по производительности локомотива составляло 24 тыс. ткм. брутто (план – 2 359 тыс. ткм. брутто, факт – 2 335 тыс. ткм брутто).

Серьезные проблемы, объективно повлиявшие на продвижение поездопотока и выполнение показателей, начались в сентябре 2018 г. в период проведения длительных закрытий на перегонах Забитуй – Черемхово и Танхой – Переемная, а также при ликвидации последствий сходов подвижного состава на перегонах Слюдянка-2 – Ангасолка Восточно-Сибирской железной дороги и Куэнга – Приисковая Забайкальской железной дороги.

В результате было замедлено продвижение поездопотока, особенно на участке Черемхово – Иркутск, что стало причиной существенного снижения пропускной и перерабатывающей способности станции Иркутск-Сортировочный и, как следствие, накопления на участке более 30 разбросанных поездов и роста наличия транзитного поездопотока на всех диспетчерских участках дороги.

На 30 сентября общее наличие на Восточно-Сибирской железной дороге – 73 438 вагонов, в том числе транзитный парк – 26 091 вагон при плане 19 150 (+ 6 941 вагон).

На 6 октября на дороге наличие вагонного парка – более 74,5 тыс. вагонов, что выше уровня прошлого года более чем на 6 670 вагонов, из них транзитная часть – 25 тыс., выше плана и уровня прошлого года более чем на 6 тыс.

Кроме того, необеспечение передачи поездов по внешним стыкам дороги привело к завышению парка вагонов (особенно транзитных), массовым сменам локомотивных бригад на линии, и соответствующему дефициту локомотивных бригад на узловых станциях.

С 2010 г. ОАО «РЖД» осуществляет политику, которая направлена на увеличение массы поезда и использование тяжеловесных поездов при осуществлении грузовых перевозок. В 2015 г. компания представила программу по развитию тяжеловесного движения поездов до 2020 г. [8–14]. В ней ставится целью наращивание количества тяжеловесных поездов на линии и внедрение

на различные направления поездов, имеющих массу 9 тыс. т.

С 2011 г. прирост средней массы грузового вагона составил около 4 %, а количество тяжеловесных поездов было увеличено на различных магистралях. Например, на Южно-Уральской железной дороге за 6 мес. в 2018 г. было пропущено 49 тыс. поездов, что на 20 % больше, чем в 2017 г.

При серьезном росте объемов поездопотока в условиях критического наличия вагонного парка на дороге дополнительно показателям в октябре 2018 г. нанесен урон издержками в пропуске поездов ввиду действия предупреждений по ограничению скоростей движения при допущенных отказах технических средств.

В октябре 2018 года по дороге выдано 3 573 ограничения скорости протяженностью 1 587,5 км, что ниже уровня прошлого года на 459 штук и по протяженности на 1 180,4 км (2017 г – 4 032 шт. на 2 767,9 км).

Несмотря на это, рост допущен в скоростном диапазоне: 15 км/ч на 28 предупреждений / 21,6 км; 45 км/ч на 3 предупреждения / 0,3 км; 50 км/ч на 89 предупреждений / 72,8 км.

При видимой стабилизации обстановки с выдачей предупреждений по ограничению скорости движения грузовых поездов потери участковой скорости по дороге в октябре 2018 г. составили 0,6 км/ч, т. е. к уровню прошлого года возросли на 0,16 км/ч ввиду увеличения общего количества поездов, проследовавших по дороге, в том числе по участкам действия предупреждений в условиях сверхнормативного парка вагонов, когда продвижение поездопотока осуществлялось «коридором».

По декомпозиции по диспетчерским участкам максимальное количество и протяженность на участках Главного хода:

– Юрты – Невельская – Хингуй всего 493 предупреждения на 168,1 км;

– Хингуй – Тыреть 333 предупреждения на 90,8 км;

– диспетчерский участок Гончарово – Утулик 426 предупреждений протяженностью 130,4 км.

При этом на горно-перевальном участке Большой Луг – Слюдянка-1 действовало:

– перегон Большой Луг – Подкаменная 135 предупреждений протяженностью 42,9 км;

– перегон Андриановская – Ангасолка 46 предупреждений на 25,2 км;

– перегон Ангасолка – Слюдянка-2 111 предупреждений на 22,2 км.

Данные ограничения повлекли за собой снижение скорости следования поездов, что при-



вело к задержкам как четных, так и нечетных грузовых поездов на участках Иркутск – Слюдянка – Улан-Удэ.

При всем сказанном дорога ни одни сутки не отработала без отказов в работе технических средств. Время задержек поездов составило более 10 ч, причем это без учета издержек в пропуске поездов ввиду последствий отказов и задержек поездов по удалению на прилегающих участках.

Всего за 10 мес. 2018 г. по дороге выдано 37 024 предупреждения по ограничению скорости грузовых поездов на 29 620,7 км, что выше аналогичного периода в 2017 г. на 3 168 ограничений и 5 805,6 км.

Наибольшее количество ограничений скорости допущено в диапазоне:

– 60 км/ч – 13 700 предупреждений протяженностью 21 838,1 км (плюс 3 876 предупреждений и 5 895,6 км);

– 40 км/ч – 11 545 предупреждений и 3 220,8 км (плюс 6 и 323,3 км);

– 50 км/ч – 3 164 предупреждения протяженностью 2 359,7 км, что превышает уровень прошлого года на 348 предупреждений и 110,8 км.

По итогам работы с начала года не удалось достичь положительной динамики по отказам в работе технических средств по службе пути, рост к уровню прошлого года составил 561 задержанный поезд, увеличение времени задержек на 468,4 ч.

Отказы технических средств и действие предупреждений по ограничению скорости движения грузовых поездов в условиях предоставления «окон» и серьезной нагрузки по объему перевозок наносят дороге серьезный урон в эксплуатационной работе [15–18].

Увеличение количества рабочего парка локомотивов на 12,2 % к уровню прошлого года ввиду роста объемов перевозок и размеров движения и, как следствие, снижение участковой скорости.

Так, к уровню 2018 г. рост эксплуатационного грузооборота составил 8,1 % или 43,1 млн ткм нетто ежесуточно.

Среднесуточный прием превысил уровень прошлого года в среднем в сутки на 4,7 % или 7,6 поезда (с 162,6 поездов до 170,3), в том числе на Красноярской железной дороге на 4,4 поезда, на Дальневосточной железной дороге – на 1,5 поезда (рост 18,1 %).

Существенно возросла передача поездов по дороге к прошлому году – на 8,1 поезда (+ 4,9 %), в том числе на ЗАБЖД – 3,9 поезда (5,3 %), Красноярскую железную дорогу – на 2,1 поезда (2,7 %) и

Дальневосточную железную дорогу – на 0,1 поезда (0,8 %).

Рост поездопотока по приему и передаче с/на соседние дороги привел к значительному увеличению поездов почти на всех поездо-участках, как в четном, так и в нечетном направлениях. При этом любой сбой в движении негативно сказывается на пропускной способности дороги. К таким факторам относятся отказы в работе технических средств, по которым, так же к уровню прошлого год, рост поезdochасов задержек поездов составил 2,4 раза (2019 – 2 050 ч – потери 0,67 км/ч, прошлый год – 843,8 ч, потери 0,31 км/ч) по всем Дирекциям и службам, а также ограничения скорости движения поездов, по которым допущен рост к уровню прошлого года как по количеству выданных предупреждений (на 693 штуки), так и по протяженности их действия (на 321,5 км).

Кроме этого, по дороге в январе 2018 г. снижено количество локомотивов в конструктивном исполнении завода-изготовителя с учетом 1 к расчетам производительности – это локомотивы серий ВЛ85, 2ЭС5К и 3ЭС5К, зато увеличено количество локомотивов в конструктивном исполнении с учетом 1,5 к расчетам производительности – это локомотивы серий 1,5 ВЛ80 всех индексов.

Таким образом, при расчете показателей в конструктивных единицах локомотивы, работающие по СМЕ, учитываются отдельно как самостоятельные локомотивы на общих основаниях, снижая производительность локомотива.

При учете показателя производительности локомотива в конструктивных единицах ежесуточные потери от использования многосекционных локомотивов составляют порядка 67 тыс. ткм брутто.

За прошедший период с ноября 2018 г. на Восточно-Сибирской железной дороге выполнение бюджетных параметров составило:

– эксплуатационный грузооборот – 583,9 млн. ткм брутто (102,4 %), плюс 13,9 млн ежесуточно, рост к уровню прошлого года 3,1 % или 17,3 млн. ткм нетто;

– участковая скорость – 44,8 км/ч, плюс 0,2 км/ч к установленному заданию и плюс 0,6 км/ч к 2017 г.;

– производительность локомотива – 2 255 тыс. ткм брутто (101,8 %) или плюс 40 ед. к плану.

Средний вес поезда – 3 917 т, минус 3 т к плану, к уровню прошлого года плюс 9 т.

По результатам работы с начала 2019 года достигнуто сокращение отставаний по участковой скорости до 0,1 км/ч и производительности локомотива до 22 тыс. ткм брутто.



Если объективно говорить про инфраструктуру ОАО «РЖД», то надо признать, что возможности повышения транзитности вагонопотоков, как таковые исчерпаны и необходимы новые, в первую очередь, технологические решения, подкрепленные информационной составляющей. Как один из вариантов – переход на организацию движения грузовых поездов по расписанию.

При организации движения грузовых поездов по расписанию основными формами могут стать участково-групповые поезда (включая 3–4 подобранные в группы) и регулярные технические маршруты.

Однако развитие системы формирования двух- и трехгрупповых поездов будет способствовать сокращению сортировочной работы, уменьшению персонала маневровых бригад, ускорению доставки грузов.

При высокой загрузке большинства технических станций и остром дефиците сортировочных путей на них важно установить рациональное соотношение числа формируемых ими однопутных и групповых поездов.

Для возможности реализации в масштабах полигонов группового движения грузовых поездов необходимо предварительное плановое накопление подобранных групп вагонов на тех станциях, где планируется их формирование.

При этом хотелось бы отметить, что реализации движения грузовых поездов по расписанию, применяемая в масштабах полигонов, даст возможность повышения среднего веса поезда на участке порядка 5–10 % при проведении ряда мер:

- обязательной организации движения поездов с повышенной нормой веса по специально выделенным «ниткам» графика;
- реализацией окончания формирования и дальнейшей обработки на коротких путях;
- перехода от однопутного формирования к групповому;
- организации развоза местного груза с возможностью прицепки вагонов к транзитным поездам при условии сохранения всех технологических времен на обработку и норм веса и длины на участке;
- автоматическом расчете процесса формирования поездов с использованием системы резервирования вагономест в составах поездов с оперативным наложением незаполненных «ниток».

При этом имеющиеся автоматизированные средства должны обеспечить разработку эффективного и надежного графика движения поездов, при котором осуществляется автоматизированный расчет показателей надежности системы движения

грузовых поездов по расписанию.

Показатели, характеризующие надежность системы, должны отражать внешние факторы, а именно, запланированное перемещение вагонопотоков и внутренние, характеризующие общую работу узлов направлений.

Основным условием, позволяющим решить данную задачу, является наличие актуального графика движения поездов, отражающего реальные размеры вагонопотока и учитывающего возможности его пропуска в том числе по междорожным стыкам.

Все движение грузовых поездов описывается нормативным графиком, разрабатываемым на летний и зимний периоды для полигонов с учетом запланированных объемов движения. Однако при организации пропуска грузовых поездов по расписанию далеко не всегда можно воспользоваться расписанием нормативного графика. Поскольку он не учитывает календарного расписания пассажирских и пригородных поездов, которые обращаются не каждый день, структуру вагонопотока на направлении, которая существенно может меняться в течение суток, отсутствует учет «окон», характерных для летнего периода.

Использование технологии работы по организации движения грузовых поездов по расписанию приводит к тому, что необходимо рассматривать взаимодействие многих транспортных процессов, как единого механизма, не допускающего отклонений каких-либо составляющих подпроцессов, например, разработку графика движения грузовых поездов совместно с увязкой вагонопотоков и учетом логистических схем продвижения грузовых потоков при эффективных сочетаниях нормативных и технологических решений.

В связи с постоянным внедрением в технологический процесс работы отрасли различного рода инноваций, ранее поставленные цели и задачи на сегодняшний день утратили свою актуальность и в рамках комплексной программы оптимизации эксплуатационной работы были определены приоритетные направления развития, направленные на повышения качества перевозочного процесса за счет оптимизации управления структурой вагонопотоков.

На железнодорожном транспорте также имеются типовые модели управления, которые позволяют оптимизировать перевозочный процесс в части, касающейся эксплуатационной работы.

Организация вагонопотоков в поезда – это важнейший процесс в работе любой станции, все параметры, на него влияющие имеют первосте-



пенное влияние, как на работу любой станции, так и всего полигона в целом.

### Постановка задачи

Вопросы организации вагонопотоков в поезде могут быть рассмотрены и реализованы различными методами, но наиболее широкое распространение получили два:

– метод моделирования последовательности интервалов между моментами окончания накопления составов на путях парка станции на основе рассматриваемой функции распределения;

– метод моделирования разложения расформировываемых составов, поступающих на станцию в переработку, по назначениям согласно плану формирования с дальнейшим суммированием отдельных групп вагонов до целых составов.

В первом методе процесс образования поездов отсутствует. В связи с этим в цепочке действий есть разрыв системы по сортировочному парку, как итог – невозможность использования данной модели для исследования работы станций в условиях высоких загрузок отдельных ее элементов, потому что происходит взаимная блокировка подсистем.

В представленной модели реализован второй способ описания процесса образования поездов, когда поступающих составов выполняется по отдельным группам входящих в него назначений. При этом за каждым отдельным назначением, накапливаемом в сортировочном парке, закрепляется выделенный путь (в случае применения жесткой специализации путей), либо группа путей в виде ограничивающих ее начальных и конечных номеров (в случае использования скользящей специализации сортировочных путей парка станции).

Как известно из практики, большинство процессов, происходящих на железнодорожном транспорте, носят случайный характер. Это вызвано рядом различных причин, таких как неравномерность поступления поездов на станцию, нестабильность числа вагонов в группах, колебание числа вагонов в отцепках и много др. Поэтому сформированная модель должна отражать характер взаимодействия всех элементов с учетом случайных факторов.

В процессе формирования текущее значение какой-либо переменной должно быть получено путем генерирования случайного числа в сочетании с интегральной функцией распределения вероятностей для исследуемого процесса.

Так, появление тех или иных групп вагонов различных назначений в составе поезда рассматривается как случайное событие.

При этом текущее значение величин отдельных групп вагонов [4] определяется по формуле

$$m'_{cp} = m_{cpi} \left\{ \ln F(m'_{cp}) \right\} \quad (1)$$

$$F(m_{cp}) = Z_i \quad (2)$$

где  $Z_i$  – случайное распределенное число из совокупности случайных чисел, равномерно распределенных в интервале от 0 до +1;  $m_{cpi}$  – средняя величина группы вагонов  $i$ -го назначения [2]:

$$m_{cp} = Ni/n_{np} = (19 - 0.1k_{наз}) \sqrt{N_i/0.4n_{пер}} \quad (3)$$

где  $N_i$  – рассматриваемый вагонопоток  $i$ -го назначения;  $k_{наз}$  – общее количество назначений согласно плану формирования поездов;  $n$  – общее число поездов, прибывающих в расформирование в расчетный период.

Все посуточные колебания поездопотоков, а также внутрисуточная неравномерность, как показал ряд исследований [2, 4], описываются нормальным законом распределения.

В процессе моделирования расформирования поездов новые расчетные параметры имитируются на очередные сутки. При этом текущее значение получается с применением случайного числа  $Z_i$ , а также интегральной функции распределения

$$N = N_{cp} + kvN_{cp}(\Sigma Z_i - 3), \quad (4)$$

где  $N_{cp}$  – общее среднесуточное число поездов, которые расформировываются на заданной станции;  $kv$  – текущий коэффициент вариации.

По итогам процесса моделирования был составлен алгоритм формирования различных категорий групповых поездов. В процессе накопления вагонов и по итогам его завершения подсчитываются следующие величины для каждого назначения плана формирования:

- общий параметр накопления составов  $c$ ;
- количество накопившихся составов  $\Sigma N_{накi}$ ;
- время накопления составов  $\Sigma T_{накi}$ ;
- вагоно-часы накопления  $\Sigma B_{накi}$ .

### Заключение

По итогам обработки ряда экспериментальных данных были получены уравнения регрессии для кодированных значений отдельных факторов.

Полученная адекватная линейная модель имеет вид полинома первой степени. Коэффициенты данного полинома являются частными производными от функции отклика по соответствующим переменным.

По установленным коэффициентам взаимодействия  $b_{ij}$  была определена степень влияния каждого фактора на параметр оптимизации. Помимо уравнений регрессии для кодированных значений факторов были также получены уравнения регрессии для натуральных значений.





По результатам проведенных экспериментов получены зависимости параметров накопления  $c(\gamma, g, I)$  и ожидания  $s(I, g, N)$ , здесь  $N$  – доля поездов, в составе которых есть данное назначение;  $g$  – величина группы;  $I$  – интервал поступления вагонов на пути сортировочного парка.

На основе данных полученных зависимостей были представлены уточненные формулы для расчета общих затрат вагоно-часов и локомотиво-часов при групповом и одnogруппном формировании (см. табл.), с помощью которых можно проводить оперативную корректировку плана формирования поездов.

Необходимо отметить, что на сегодняшний день особо остро стоят вопросы о разработке пошаговой инструкции по принятию решений по оперативной корректировке плана формирования диспетчерским аппаратом станций и региональных дирекций с перечнем порядка действий по выработке предложений и их согласованию, периодичность и пр.

Также необходимо сказать о важности соблюдения баланса в загрузки всей инфраструктуры в целом, а не отдельных полигонов.

Достаточно сложна обстановка с порожним вагонами, следующими из-под выгрузки с портов Дальнего Востока. Все невостребованные под погрузку вагоны, согласно правилам перевозки порожних вагонов, разрешено перемещать на близлежащие станции для дальнейшего накопления до более крупной группы. В результате такого встречного движения порожнего вагонопотока забиваются пути близлежащих станций и, как итог, затруднен подвод груженых поездов к морским портам, что приводит к образованию пробок, которые снижают пропускные способности Восточного полигона и увеличивают количество лимитирующих участков [14].

На сегодняшний день стоит задача эффективного управления парками вагонов по каждой из составляющих полигона, с опорой на вместимость участков, а также основных станций в разрезе дорог, с целью оптимизации струй вагонопотоков и загрузки инфраструктуры.

Исходя из всего перечисленного, хотелось бы отметить, что в новых сложившихся условиях работы необходимы провести анализ и выявить перечень показателей, значение которых может корректироваться в зависимости от поездной обстановки на рассматриваемый период для каждой из дорог и полигонов [13].

С учетом работы полигонов необходимо рассмотреть перечень следующих основных показателей:

– нормы выполнения графика движения поездов;

– пробег локомотива;  
– степень отказов технических средств;  
– общий вагонный парк.

Также принять следующие меры:

– организовать работу по перераспределению локомотивных бригад между структурными подразделениями;

– установить задание и обеспечить контроль над следованием локомотивных бригад на удлинённых плечах обслуживания;

– организовать пополнение поездов на участковых станциях для повышения составности поездов, в том числе передаваемых по стыкам дорог;

– обеспечить мониторинг простоя локомотивов с простоем более 30 мин. от прибытия до сдачи локомотивной бригады по трем часовым периодам работниками сменного аппарата ДЦУП с принятием оперативных мер по исключению простоя;

– установить контроль над простоем поездов на промежуточных станциях более 20 мин. для исключения задержек поездов на поездо-участках под пропуск пассажирских пригородных поездов и т. д., обеспечить наличие поездов на участках по трехчасовым периодам согласно нормативному графику;

– обеспечить выполнение норм времени по прицепке / отцепке локомотивов-толкачей на горно-перевальном участке.

Дополнительно необходимо:

– дирекциям тяги обеспечить потребную заставку локомотивных бригад в грузовом движении для Восточного полигона;

– создать условия для содержания эксплуатируемого парка локомотивов;

– организовать выполнение оборота локомотива на станциях не более 5 ч;

– обеспечить развоз местного груза в первую половину суток (не менее 60 %);

– гарантировать снижение количества отказов технических средств, выработать мероприятия, обеспечивающие безаварийную работу технических средств и стабилизацию эксплуатационной работы дороги.

Комплекс перечисленных показателей достаточно емко характеризует перевозочный процесс, организованный в новых условиях работы на полигонах, и отражает рыночные требования в работе основного перевозчика ОАО «РЖД», однако, их применение требует дальнейших исследований, обоснований и дополнений.

Полный комплекс мероприятий по модернизации общей системы показателей эксплуатационной работы должен включать в себя построение процессных моделей производственного блока



Т а б л и ц а

**Расчетные формулы для уточнения определения суточной затраты вагоно-часов при групповом и одnogруппном формировании поездов категорий без постоянного веса групп с применением фиксированного расписания**

Станция формирования	Операции		Групповые поезда		Одногруппные поезда	
			$N_C = N_D$	$N_C > N_D$	сквозные	разборочные
	Накопление при фиксированном расписании		$c(s, g)m(2 - \frac{1}{\alpha_{\text{воз}}\beta n_{\text{сп}}})$	$c(s, g)m[(2 + (1 + \gamma)(1 - \frac{\alpha_{\text{воз}}\beta l}{\gamma\alpha_{\text{воз}}})]$	$2c(s, g)m$	$c(s, g)m$
Обмен групп	Накопление и ожидание расписания		$1.1c(s, g)m\beta$	$c(s, g)m[1 + \beta(1 + \gamma - \alpha_{\text{воз}})l]$ $\gamma\alpha_{\text{воз}}$	$c(s, g)m$	$c(s, g)m$
	Расформирование и формирование	Станции с последовательным расположением парков	$\frac{n_{\text{сп}}\beta m}{60}(12.41 + 0.46\beta m)$	$[(13.28 + 0.49\beta m) + (\alpha_{\text{воз}} - 1)(9.72 + 0.031m)]\frac{n_{\text{сп}}\beta m}{60}$	$[(3.68 + 0.453m) + \alpha_{\text{воз}}(9.69 + 0.031m)]*\frac{n_{\text{сп}}\beta m}{60}$	$[(3.68 + 0.451m) + \alpha_{\text{воз}}(9.69 + 0.031m)]*\frac{n_{\text{сп}}\beta m}{60}$
		Станции с параллельным расположением парков	$\frac{n_{\text{сп}}\beta m}{60}(13.56 + 0.6\beta m)$	$[(13.54 + 0.6\beta m) + (\alpha_{\text{воз}} - 1)(9.77 + 0.09m)]\frac{n_{\text{сп}}\beta m}{60}$	$[(3.76 + 0.51m) + \alpha_{\text{воз}}(9.78 + 0.09m)]*\frac{n_{\text{сп}}\beta m}{60}$	$[(3.76 + 0.51m) + \alpha_{\text{воз}}(9.77 + 0.09m)]*\frac{n_{\text{сп}}\beta m}{60}$
	Переработка		-	-	-	$n_{\text{сп}}(1 - \beta)mt_{\text{эк}}$
	Дополнительная стоянка транзитных поездов		$N_{\text{мп}}\Delta T_{\text{мп}}$	$N_{\text{мп}}\Delta T_{\text{мп}}$	-	-

холдинга «РЖД», а также формирование новой системы показателей эксплуатационной деятельности полигонов.

Необходимо в ближайшее время определить набор показателей, которые подлежат мониторин-

гу и контролю в новых условиях и позволяют обеспечить процесс принятия решения адекватной и достаточной информацией.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Интенсификация переработки групповых вагонопотоков / Л.В. Абуладзе и др. // Железнодорожный транспорт. 1990. No. 7. С. 13–16.
2. Акулиничев В.М., Бодюл В.И., Александров В.И. Статистическое моделирование работы сортировочной станции // Тр. МИИТ. 1974. Вып. 379. С. 74–91.
3. Елисеев С.Ю., Бородин А.Ф., Смирнов Д.В., Харитонов А.В. Новая технология управления вагонопотоками // Железнодорожный транспорт. Сер.: Организация движения и пассажирские перевозки. ЭИ/ЦНИИТЭИ. 1999. Вып.1 С. 1–21.
4. Зубков И.И., Угрюмов А.К. Организация движения на железнодорожном транспорте // М. : Транспорт, 1981. С. 232.
5. Иванкова Л. Н. Определение пропускной способности станций с учетом емкости путевого развития / Л. Н. Иванкова, А. В. Буракова // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2018. Т. 59, No. 3. С. 92–98.
6. Кобзев С.А., Шаров В.А. О резервах производственных мощностей в условиях множественности операторов подвижного состава // Железнодорожный транспорт. 2013. No. 8. С. 16–22.
7. Левин Д.Ю. Диспетчерские центры и технология управления перевозочным процессом. М. : Маршрут, 2005. 760 с.
8. Сотников Е.А., Шенфельд К.П. Неравномерность грузовых перевозок в современных условиях и ее влияние на потребную пропускную способность участков // Вестн. ВНИИЖТ. 2011. No. 5. С. 3–9.
9. Стопичев С.Г. Совместный расчет плана формирования отправительских и технических маршрутов на ЭВМ // Тр. ХаБНИИЖТ. Вып. 22. Хабаровск, 1965. С. 39–43.
10. Тихонов К.К. Выбор оптимальных параметров эксплуатации железных дорог. М. : Транспорт, 1974. 192 с.
11. Шаров В.А. Интегрированная технология управления движением грузовых поездов по расписанию // Железнодорожный транспорт. 2011. No. 8 с. 11–21.
12. Шаров В.А. Новые риски при реализации единого интегрированного планирования на железнодорожном транспорте общего пользования // Наука и техника транспорта. 2016. No. 2 С. 87–93.
13. Шенфельд К.П. Развитие системы качественных показателей перевозочного процесса в условиях структурной реформы железнодорожного транспорта // Инновационные факторы развития Транссиба на современном этапе : сб. материалов. Ч. 2. Новосибирск : Изд-во СГУПС, 2013. С. 151–153.



14. Шенфельд К.П. Скорость на рейсе вагона - комплексный показатель качества перевозочного процесса // Железнодорожный транспорт. 2012. No. 28. С. 20–23.
15. Доклад генерального директора - председателя правления ОАО «РЖД» О.В. Белозерова на расширенном итоговом заседании правления ОАО РЖД // Железнодорожный транспорт. 2018. No. 1. С. 4–10.
16. Инструкция по разработке графика движения поездов в ОАО «РЖД» : утв. распоряжением ОАО «РЖД» 27 дек. 2006 г. : по состоянию на 27 дек. 2006 г. М. : ОАО «РЖД», 2006. 62 с.
17. Инструкция по определению станционных и межпоездных интервалов : утв. МПС России 27 дек. 1995 г. : по состоянию на 27 дек. 1995 г. М. : МПС РФ, 1995. 162 с.
18. Simulation of the vibration of the carriage asymmetric parameters in mathcad / V.E. Gozbenko et al // International Journal of Applied Engineering Research. 2016. T. 11. No. 23. С. 11132–11136.

## REFERENCES

1. Abuladze L.V. et al. Intensifikatsiya pererabotki gruppovykh vagonopotokov [Intensification of processing group wagon flows]. *Zheleznodorozhnyi transport [Railway Transport]*, 1990. No. 7. Pp. 13–16.
2. Akulinichev V.M., Bodyul V.I., Aleksandrov V.I. Statisticheskoe modelirovanie raboty sortirovochnoi stantsii [Statistical Modeling of the Sorting Station]. *Tr. MIIT [Works of Moscow Institute of Railway Transport Engineers]*, 1974. Issue 379. Pp. 74–91.
3. Eliseev S.Yu., Borodin A.F., Smirnov D.V., Kharitonov A.V. Novaya tekhnologiya upravleniya vagonopotokami [A new technology of controlling car flows]. *Zheleznodorozhnyi transport. Ser.: Organizatsiya dvizheniya i passazhirskie perevozki [Railway transport. Ser.: Traffic management and passenger traffic]*. EI/TsNIITEI Publ., 1999. Vyp.1 Pp. 1–21.
4. Zubkov I.I., Ugryumov A.K. Organizatsiya dvizheniya na zheleznodorozhnom transporte [The organization of movement on the railway transport]. Moscow: Transport Publ., 1981. Pp. 232.
5. Ivankova L. N., Burakova A. V. Opredelenie propusknoi sposobnosti stantsii s uchetom emkosti putevogo razvitiya [Determination of the carrying capacity of stations taking into account the capacity of the tracks layout]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemyi analiz. Modelirovanie [Modern Technologies. System Analysis. Modeling]*, 2018. Vol. 59, No. 3. Pp. 92–98.
6. Kobzev S.A., Sharov V.A. O rezervakh proizvodstvennykh moshchnosti v usloviyakh mnozhestvennosti operatorov podvuzhnogo sostava [On reserves of production capacity under conditions of a plurality of rolling stock operators]. *Zheleznodorozhnyi transport [Railway Transport]*, 2013. No. 8. Pp. 16–22.
7. Levin D.Yu. Dispetcherskie tsentry i tekhnologiya upravleniya perevozochnym protsessom [Dispatch centers and traffic control technology]. Moscow: Marshrut Publ., 2005. 760 p.
8. Sotnikov E.A., Shenfel'd K.P. Neravnomernost' gruzovykh perevozok v sovremennykh usloviyakh i ee vliyanie na potrebnuyu propusknyuyu sposobnost' uchastkov [Uneven freight traffic in modern conditions and its impact on the required capacity of sites]. *Vestn. VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute]*, 2011. No. 5. Pp. 3–9.
9. Stopichev S.G. Sovmestnyi raschet plana formirovaniya otpravitel'skikh i tekhnicheskikh marshrutov na EVM [Joint calculation of the plan for the formation of the sending and technical routes with a computer]. *Tr. KhabIIZhT [Works of Khabarovsk Institute of Railway Transport Engineers]*, Issue 22. Khabarovsk, 1965. Pp. 39–43.
10. Tikhonov K.K. Vybor optimal'nykh parametrov ekspluatatsii zheleznnykh dorog [Selection of optimal parameters for the operation of railways]. Moscow: Transport Publ., 1974. 192 p.
11. Sharov V.A. Integrirovannaya tekhnologiya upravleniya dvizheniem gruzovykh poezdov po raspisaniyu [Scheduled integrated technology for freight train traffic control]. *Zheleznodorozhnyi transport [Railway Transport]*, 2011. No. 8. Pp. 11–21.
12. Sharov V.A. Noveye riski pri realizatsii edinogo integrirovannogo planirovaniya na zheleznodorozhnom transporte obshchego pol'zovaniya [New risks in the implementation of integrated integrated planning on public transport]. *Nauka i tekhnika transporta [Science and Technology in Transport]*, 2016. No. 2. Pp. 87–93.
13. Shenfel'd K.P. Razvitie sistemy kachestvennykh pokazatelei perevozochnogo protsessa v usloviyakh strukturnoi reformy zheleznodorozhnogo transporta [Development of the system of quality indicators of the transportation process in the context of the structural reform of rail transport]. *Innovatsionnye faktory razvitiya Transsiba na sovremennom etape : sb. materialov [Innovative factors in the development of Transsib at the present stage: Coll. of materials]*. Part 2. Novosibirsk : SGUPS Publ., 2013. Pp. 151–153.
14. Shenfel'd K.P. Skorost' na reise vagona - kompleksnyi pokazatel' kachestva perevozochnogo protsessa [Car service speed is a comprehensive indicator of the quality of the transportation process]. *Zheleznodorozhnyi transport [Railway Transport]*, 2012. No. 28. Pp. 20–23.
15. Doklad general'nogo direktora - predsedatelya pravleniya ОАО «RZhD» О.В. Belozerova na rasshirennoe itogovoe zasedanii pravleniya ОАО RZhD [The report of the O.V. Belozerov, Director General - Chairman of the Management Board of JSCo Russian Railways at the extended final meeting of the Board of Russian Railways]. *Zheleznodorozhnyi transport [Railway Transport]*, 2018. No. 1. Pp. 4–10.
16. Instruksiya po razrabotke grafika dvizheniya poezdov v ОАО «RZhD» : utv. rasporyazheniem ОАО «RZhD» 27 dek. 2006 g. : po sostoyaniyu na 27 dek. 2006 g [Instructions for the development of train schedules in JSC “Russian Railways”: approved by the Russian Railways Order dated 27 Dec. 2006: as of December 27, 2006]. Moscow: ОАО «RZhD» Publ., 2006. 62 p.
17. Instruksiya po opredeleniyu stantsionnykh i mezhpoezdnykh intervalov : utv. MPS Rossii 27 dek. 1995 g. : po sostoyaniyu na 27 dek. 1995 g [Instructions for determining the station and inter-train intervals: approved by the Ministry of Railways of Russia, dated December 27, 1995: as of December 27 1995]. Moscow: MPS RF Publ., 1995. 162 p.
18. Gozbenko V.E. et al. Simulation of the vibration of the carriage asymmetric parameters in MathCad [Simulation of asymmetric parameters in MathCAD]. *International Journal of Applied Engineering Research*, 2016. Vol. 11. No. 23. Pp. 11132–11136.



## Информация об авторах

## Authors

Маловецкая Екатерина Викторовна – к. т. н., доцент кафедры управления эксплуатационной работой, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: MalovetskayEV@mail.ru

Ekaterina Viktorovna Malovetskaya – Ph.D. in Engineering Science, Assoc. Prof. at the Subdepartment of Management of Operational Work, Irkutsk State Transport University, e-mail: MalovetskayEV@mail.ru

## Для цитирования

## For citation

Маловецкая Е. В. Использование имитационного моделирования при принятии решений по оперативной корректировке плана формирования диспетчерским аппаратом станций и региональных дирекций // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2019. – Т. 62, № 2. – С. 155–166. – DOI: 10.26731/1813-9108.2019.2(62).155–166

Malovetskaya E. V. Ispol'zovanie imitatsionnogo modelirovaniya pri prinyatii reshenii po operativnoi korrektyrovke plana formirovaniya dispatcherskim apparatom stantsii i regional'nykh direktsii [The use of imitation modeling for decision-making on immediate correction of the plan of stations and regional directorates formed by the dispatcher office]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2019. Vol. 62, No. 2. Pp. 155–166. DOI: 10.26731/1813-9108.2019.2(62).155–166

УДК 629.423

DOI: 10.26731/1813-9108.2019.2(62).166–177

С. А. Богинский<sup>1</sup>, О. В. Мельниченко<sup>2</sup>, А. О. Линьков<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Дирекция тяги (филиал ОАО «РЖД»), г. Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup> Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

Дата поступления: 09 марта 2019 г.

## ПОВЫШЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОВОЗОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ЗА СЧЕТ НОВОЙ ОРГАНИЗАЦИИ СЕТЕВОЙ КОММУТАЦИИ ПЛЕЧ ВЫПРЯМИТЕЛЬНО-ИНВЕРТОРНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

**Аннотация.** Приведен анализ накопленного опыта в использовании разрядного диодного плеча с целью повышения энергетических характеристик тягового режима отечественных электровазозов переменного тока. Предложен новый подход в применении разрядного плеча, являющийся дальнейшим развитием технического решения и подразумевающий реорганизацию алгоритма управления тиристорными плечами преобразователей электровазоза. Положительный эффект в таком случае достигается не только благодаря уменьшению продолжительности коммутации тиристорных плеч выпрямительно-инверторного преобразователя, но и за счет использования электромагнитной энергии, накапливаемой в цепи выпрямленного тока, для закрытия отработавших плеч через контур разрядного плеча. Проведено сравнительное математическое моделирование электромагнитных процессов работы типового и предлагаемого преобразователей в режиме тяги, результаты которого представлены в форме рисунков и сводной таблицы. Предлагаемый выпрямительно-инверторный преобразователь был исследован при различных углах открытия тиристорных плеч, которые принимались равными 9, 15, 20 и 26 электрических градусам. При анализе результатов моделирования видно, что наибольший эффект достигается при угле открытия, составляющем 26 электрических градусов, когда разрядное плечо полностью закрывает ранее проводившие ток тиристорные плечи. Результаты проведенного исследования представлены в форме перечня выводов. Коммутация тиристорных плеч выпрямительно-инверторного преобразователя с разрядным диодным плечом при угле открытия в 26 электрических градусов протекает в три раза быстрее по сравнению с типовой благодаря обеспечению избыточных потенциальных условий и устойчивой работы тиристорных плеч. Подобная организация коммутации изменяет назначение угла открытия, который становится управляющим импульсом для перевода тиристорных плеч выпрямительно-инверторного преобразователя из запертого состояния в открытое, при этом исключается возникновение короткого замыкания в секциях вторичной обмотки тягового трансформатора. Полученные при моделировании данные позволяют говорить о достижении положительного эффекта в виде повышения коэффициента мощности электровазоза в среднем на 3,8 % и снижения потерь мощности в плечах преобразователей на 4,5 %.

**Ключевые слова:** выпрямительно-инверторный преобразователь, преобразовательная техника, алгоритм управления, коммутация, электромагнитные процессы, энергетические показатели электровазоза, коэффициент мощности.