

# ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ ПОСЛЕ ОТКАЗОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВИРТУАЛЬНОЙ СЦЕПКИ ПОЕЗДОВ

**БУШУЕВ Сергей Валентинович**, канд. техн. наук, проректор по научной работе, доцент<sup>1</sup>;  
e-mail: sbushuev@usurt.ru

**КОВАЛЕВ Игорь Александрович**, канд. техн. наук, доцент<sup>2</sup>; e-mail: ikovalev@usurt.ru

Уральский государственный университет путей сообщения, кафедра «Автоматика, телемеханика и связь на железных дорогах»<sup>1</sup>, кафедра «Управление эксплуатационной работой»<sup>2</sup>

В статье рассмотрено влияние технологии группового автоведения (виртуальной сцепки) на ускорение процесса восстановления движения после отказа с перерывом в движении на участке железной дороги. Определены возможные межпоездные интервалы: расчетные и статистические оценки с учетом реальных условий движения на участке и с применением технологии виртуальной сцепки. При этом влияние ограничений по энергоснабжению не рассматривалось, предполагается, что в процессе массового внедрения технологии группового автоведения система энергоснабжения будет усилена для обеспечения возможностей систем автоматики. Проведено имитационное моделирование работы участка железной дороги в системе макро моделирования транспортных узлов и полигонов ИМЕТРА с целью комплексной оценки влияния внедрения группового автоведения на показатели работы участка в нормальном режиме работы и после восстановления движения при длительном (8 часов) отказе технических средств. Рассмотрена возможность усиления пунктов технического осмотра дополнительными бригадами для ускорения восстановления движения после отказа технических средств.

**Ключевые слова:** пропускная способность железных дорог, межпоездной интервал, системы интервального регулирования движения поездов, виртуальная сцепка, групповое автоведение поездов, система ИМЕТРА, имитационное моделирование, график движения поездов.

DOI: 10.20295/2412-9186-2024-10-01-64-73

## ▼ Введение

Вслед за эпохой кардинального изменения технических решений электрической централизации [1] пришло время систем интервального регулирования. Особый интерес представляет возможность переноса функций поддержания нужного интервала на локомотив, при этом учитывается уровень развития технологии, функция обеспечения безопасности сохраняется за системами автоблокировки, но возникает синергетический эффект в увеличении пропускной способности участков железных дорог.

С 2019 года в ОАО «РЖД» началось внедрение и продолжается расширение использования технологии организации перевозки виртуально сцепленными грузовыми поездами «Виртуальная сцепка» (ВСЦ) [2]. Общая эксплуатационная длина полигона внедрения составила более 5000 км, более 10 тыс. пар поездов было проведено по технологии ВСЦ в 2022 году с увеличением в 2023 году. Все это

благодаря тому, что технология группового автоведения поездов, частным случаем реализации которой является внедряемая ВСЦ, обладает большим потенциалом по увеличению пропускной способности участков железных дорог [3, 4] за счет снижения интервала между виртуально сцепленными поездами даже на участках, оборудованных трехзначной автоблокировкой [5]. За рубежом виртуальная сцепка (virtual coupling) рассматривается как один из вариантов реализации четвертого уровня европейской системы управления ERTMS<sup>1</sup> [6, 7] для высокоскоростных поездов [8].

Цель данной статьи — оценить влияние массового внедрения технологии группового автоведения на время восстановления движения на участке железной дороги после отказов в условиях эксплуатации железных дорог России. Для этого будем оценивать изменение

<sup>1</sup> Европейская система управления движением поездов (англ. European Rail Traffic Management System).

показателей работы участка во время и после длительного перерыва в движении поездов. Для оценки роли группового автоведения также необходимо учесть возможность сокращения межпоездного интервала за счет технологии ВСЦ.

**1. Результаты исследований межпоездных интервалов на грузонапряженном участке железной дороги**

Схема движения с трехблочным разграничением на участках с трехзначной автоблокировкой приведена на рис. 1, а, а применение группового автоведения позволяет двигаться на тех же участках с двухблочным разграничением без снижения установленной скорости и безопасности движения, рис. 1, б.

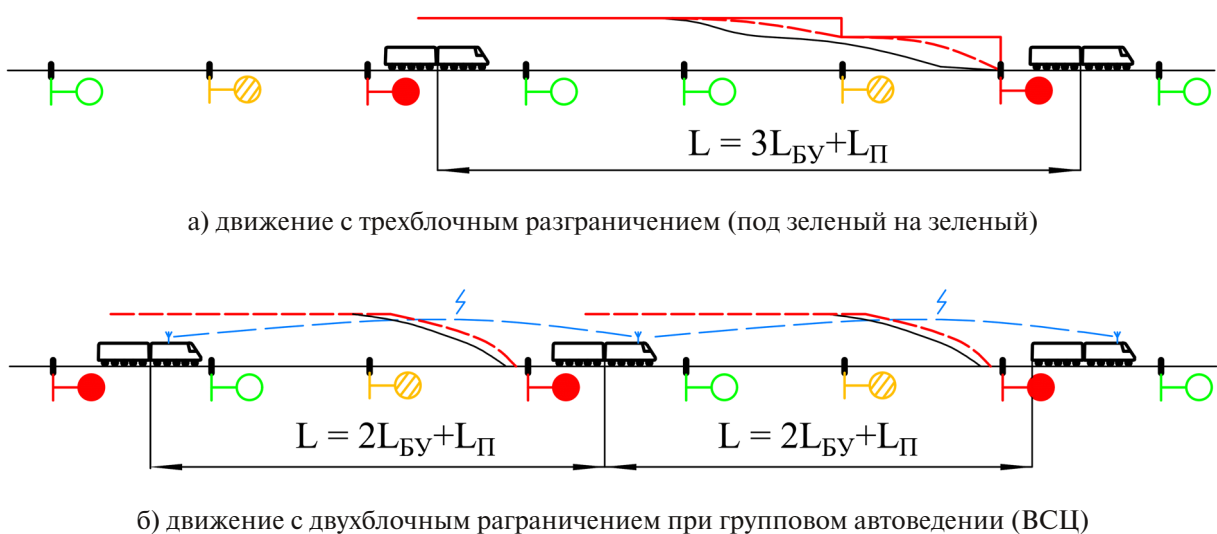
Межпоездной интервал, который реально может обеспечить система интервального регулирования движения поездов (СИРДП), зависит от типа системы, особенностей проекта на конкретном участке и фактически реализуемой скорости движения. На фактическую скорость влияет множество факторов: поездная обстановка, привычки конкретного машиниста, решения, принятые при оперативном планировании движения поездов.

Исследования движения поездов авторами статьи на одном из грузонапряженных участков ОАО «РЖД» протяженностью более 150 км,

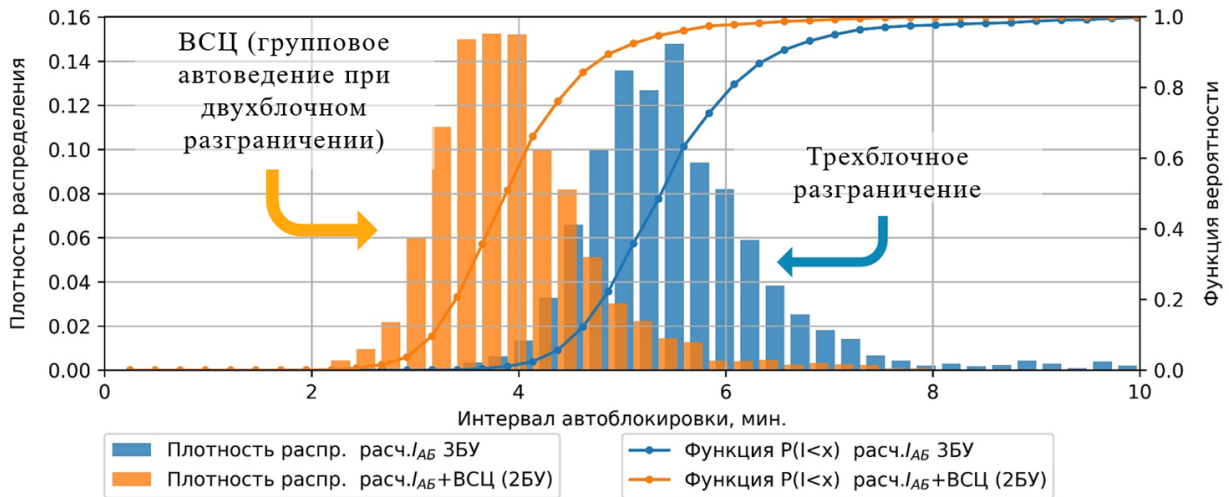
оборудованном трехзначной автоблокировкой, показывают, что даже в проектных решениях длины рельсовых цепей и блок-участков заложены таким образом, что при движении со скоростью согласно тягового расчета допустимый минимальный межпоездной интервал по ходу движения варьируется от 4,5 до 7 минут при движении с трехблочным разграничением (см. рис. 2, а). Групповое автоведение может позволить сократить этот интервал до 3–5 минут.

Следует учитывать, что расчетный межпоездной интервал движения на протяжении всего участка будет определяться наибольшим в процессе движения, поэтому на исследуемом участке его нужно принимать 7 минут для трехблочного разграничения и 5 минут для группового автоведения.

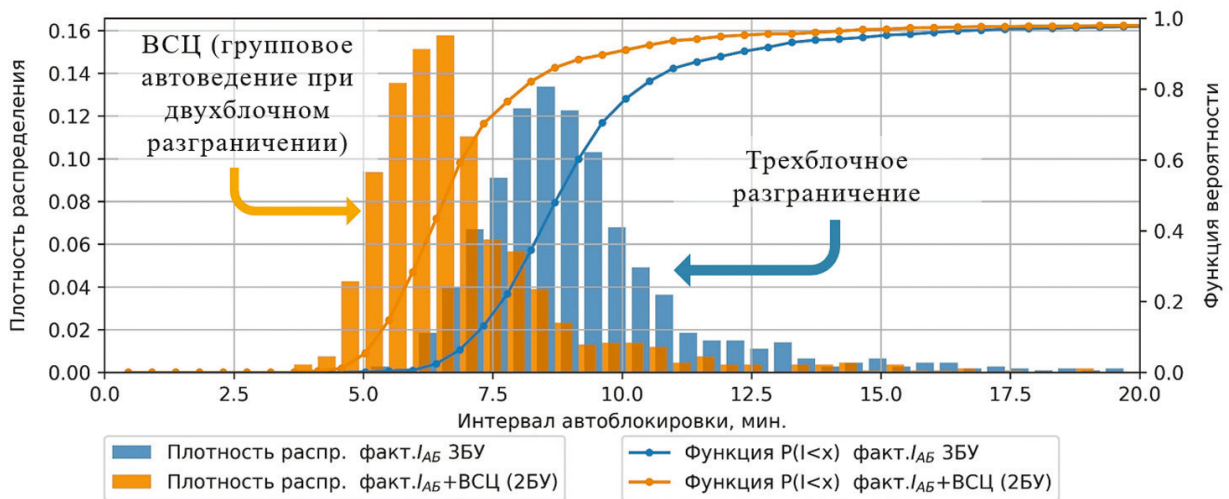
В реальных условиях эксплуатации отказы технических средств, временные ограничения скорости, выполнение регламентных работ, несвоевременное принятие оперативных решений или задержки при выполнении технологических операций приводят к снижению скорости, а значит, к увеличению минимальных межпоездных интервалов. На рис. 2, б видно, что при исследовании движения более 3000 грузовых и пассажирских поездов на участке железной дороги фактический расчетный межпоездной интервал для трехблочного разграничения оказался от 6 до 14, в среднем 9 минут,



**Рис. 1.** Схемы движения поездов на участке трехзначной автоблокировки ( $L$  — межпоездной интервал в метрах,  $L_{бу}$  — длина блок-участка автоблокировки,  $L_{п}$  — длина поезда)



а) минимальный расчетный межпоездной интервал (по тяговому расчету, с учетом длительных ограничений скорости)



б) фактический расчетный межпоездной интервал (с учетом реальной кривой скорости каждого поезда)

**Рис. 2.** Распределения межпоездных интервалов при трехблочном и двухблочном разграничении на участке с трехзначной автоблокировкой

а для двухблочного разграничения от 4 до 11, в среднем 6 минут.

В реальной жизни поезда по технологии ВСЦ движутся совместно с обычными поездами, кроме того, расстояние между виртуально сцепленными поездами настроено с учетом ограничения по энергоснабжению (значительно больше, чем может позволить автоблокировка), что снижает эффект от применения группового автоведения.

На рис. 3 видно, что поезда без автоведения ограничивают скорость всего пакета (средняя скорость на участке протяженностью 140 км

составила всего 56 км/ч). Влияние обозначенных факторов увеличивает межпоездной интервал от 30–40%, что в численном выражении составляет 9–12 минут.

Представленная на рис. 3 реализация движения ВСЦ поездов демонстрирует нерешенную в настоящий момент проблему организации движения таких поездов, что снижает ожидаемый эффект от применения технологии практически до нуля [9]. Однако следует полагать, что после реализации мероприятий, предусмотренных Концепцией внедрения на сети железных дорог комплексной техноло-

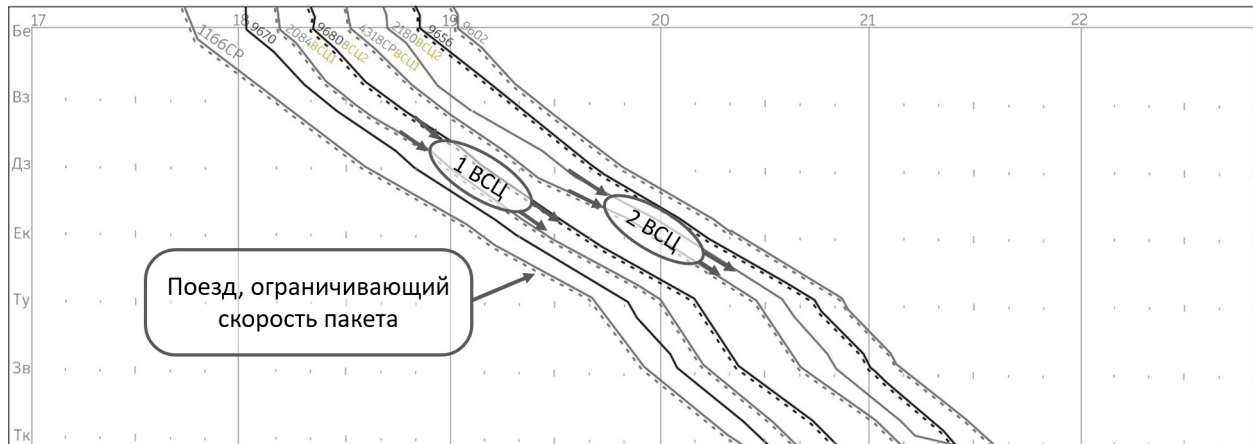


Рис. 3. Фрагмент исполненного графика движения ВСЦ

гии интервального регулирования движения поездов<sup>2</sup> [10], в частности, повышение скорости движения на желтый сигнал светофора до 80 км/ч, переход к групповому автоведению (до 5 поездов) с минимальным интервалом, автоматизация и информационная увязка оперативного планирования с системами автоведения поездов, усиление энергоснабжения, принятие мер к обеспечению отправления поездов с минимальным интервалом [11], движение с расчетным межпоездным интервалом 5 минут достижимо.

Очевидно, что увеличение плотности потока поездов сразу приведет к росту потерь времени в ожидании технологических операций на станциях [12], и это может исключить получение эффекта от мероприятий по совершенствованию СИРДП на участке [13].

## 2. Оценка влияния массового внедрения технологии группового автоведения на время восстановления нормальной работы участка железной дороги после отказа

Наиболее точная и комплексная оценка поездной работы участка при изменении технологии организации движения, в частности, условий работы системы интервального регулирования, может быть получена только имитационным моделированием [14]. Поэтому авторами выполнено исследование работы

участка железной дороги в условиях внедрения группового автоведения, обеспечивающего движение поездов с установленной скоростью и двухблочным разграничением при трехзначной автоблокировке на модели одного из реальных грузонапряженных участков, разработанной в системе макро моделирования транспортных узлов и полигонов ИМЕТРА [15] и валидированной научной школой Козлова Петра Алексеевича.

Система ИМЕТРА опирается на макро-структурный, функциональный подход к моделированию [16, 17], позволяя учитывать технологию работы транспортных систем через представление ее в виде сети каналов и бункеров, взаимодействующих между собой с заданными детерминированными или стохастическими характеристиками.

ИМЕТРА позволяет устанавливать этапность развития транспортной инфраструктуры направлений и полигонов, определять их рациональную технологию работы, производить оценку вариантов реконструкции. По результатам расчетов система выдает широкий набор показателей, представленных в графическом и табличном виде (график загрузки элементов инфраструктуры, график исполненного движения, пропускную способность станций, загрузку парков, горловин, терминалов и задержки из-за них, полный и расчлененный по элементам простой, состояние полигона в любой момент времени и др.).

Модель построена для двухпутного участка протяженностью 400 км, на котором распола-

<sup>2</sup> Концепция внедрения на сети железных дорог комплексной технологии интервального регулирования движения поездов: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 28 сентября 2020 года № 2123/р.

гаются 17 станций, в том числе 2 сортировочные станции, 2 крупные пассажирские станции, 5 участковых станций. Отдельные перегоны имеют третий и четвертый главные пути.

В модели заданы технические характеристики станций с учетом путевого развития парков, специализации и вместимости путей. Станции (парки) поделены на каналы, обеспечивающие учет параллельных технологических операций. Учтены потоки поездов по направлениям с указанием технических характеристик потока (длина составов в четном и нечетном направлениях всех возможных назначений: транзитные, сформированные на дороге и прибывающие в расформирование, внутридорожные и сборные поезда).

Для каждой категории поездопотока задана последовательность операций, моделирующих проследование по перегонам и станциям направления и технологические операции на технических станциях.

За основу взята структура и количественные соотношения существующих поездопотоков, учтены технологические принципы пропуска и обработки поездов для этого участка и станций, принятые в нормативных документах. В частности, учтены операции на станциях, которые могут проводиться с поездами разных категорий (тяжеловесные в нечетном направлении, длинносоставные 100 условных вагонов в четном, поезда нормативного веса и длины). В том числе: операции по расформированию, накоплению, формированию; осмотр, закрепление, раскрепление состава; смена поезда локомотива и локомотивных бригад; опробование тормозов и другие. Движение пассажирских и тяжеловесных поездов было задано расписанием.

Целью имитационного эксперимента в системе ИМЕТРА было определение комплексного эффекта от сокращения межпоездного интервала в пакетах грузовых поездов унифицированной массы и длины с нормативных для заданного участка 8 минут до 5 минут за счет группового автоведения.

Моделирование с реальными размерами и графиком движения пассажирских и тяжеловесных поездов показывает положительный эффект от применения виртуальной сцепки по показателям работы участка, представленным

в табл. 1, но визуально на фрагменте исполненного графика, представленном на рис. 4, а, это сложно заметить. Дело в том, что межпоездной интервал в пакете поездов унифицированной длины снизился значительно (на 37%), но зачастую технологические операции, связанные с обработкой поездов на станциях, не позволяют его использовать.

**Таблица 1. Результат имитационного эксперимента при нормальной работе участка**

Показатель	Интервал СИРДП		Изменение
	8 мин	5 мин	
Участковая скорость, км/ч	27,8	31,4	+ 13 %
Время нахождения на участке, час	10,8	10,1	- 6,5 %
Задержки грузовых поездов (без тяжеловесных), час	617,3	460,9	- 25 %

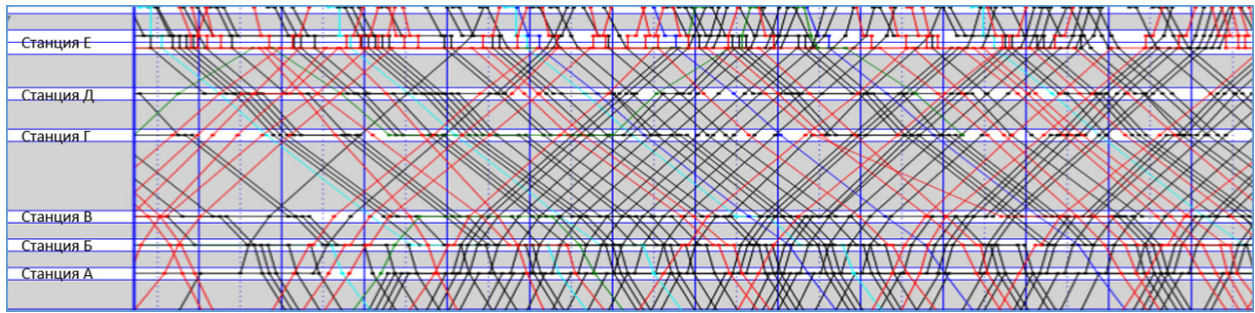
Чтобы разделить причины снижения эффекта новой технологии, необходимо снизить влияние пассажирского движения, ограничивающего уровень пропускной способности. Тогда инфраструктурные ограничения и ограничения технологии выявятся более наглядно.

Для этого из расчетов с 5-минутными интервалами были исключены пассажирские поезда и увеличена доля грузовых унифицированных поездов. На нижнем графике, представленном на рис. 4, б, теперь наглядно видно, как станция А «разрывает» пакеты в четном направлении, а станция Б в нечетном. Это снижает эффект сокращения межпоездного интервала в пакете поездов, следующих в виртуальной сцепке.

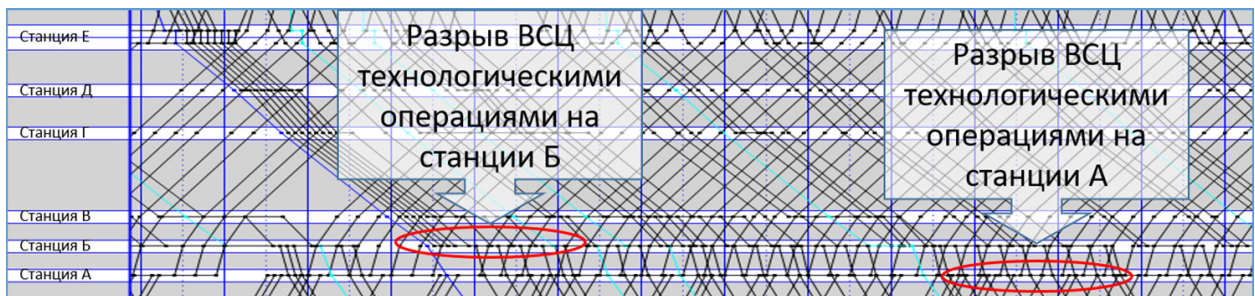
Для оценки влияния перерывов в движении поездов, оказывающих влияние на пропускную способность направления, проведен эксперимент с закрытием одного из перегонов четного направления на 8 часов.

В этом случае, при 8-минутном межпоездном интервале, участок не справился с пропуском заданного потока поездов, что выразилось в невозможности приема поездов для пропуска по участку.

При групповом автоведении (5-минутном интервале СИРДП) с началом окна резко выросли задержки грузовых поездов и снизилось количество сданных четных поездов. После



а) график движения поездов с учетом пассажирских поездов с минимальным интервалом в пакете поездов унифицированной массы 5 минут



б) график исполненного движения с минимальным интервалом в пакете поездов унифицированной массы 5 минут (пассажирские поезда исключены)

**Рис. 4.** Фрагмент графика движения поездов на участке А–К

**Таблица 2.** График изменения показателей работы участка при отказе\*

Показатель / модельные сутки	2 сутки	3 сутки (перерыв в движении)	4 сутки	5 сутки	6 сутки
Время нахождения, час	10,0 →	10,5 ↑	11,7 ↑	10,4 ↓	9,8 →
Задержки грузовых поездов (без тяжеловесных), час	287 →	488 ↑	734 ↑	413 ↓	365 ↓
Сданные четные поезда	134 →	123 ↓	136 ↑	146 ↑	138 →

\* обозначения: → — нормальные среднестатистические значения работы участка, ↑↓ — рост или падение показателя под влиянием отказа и в процессе восстановления движения.

открытия движения началось восстановление нормальной работы участка, но и в этом случае прочие технологические и инфраструктурные ограничения не дают полноценно реализовать 5-минутный межпоездной интервал. Полностью показатели работы участка восстановились через двое суток на третьи, о чем свидетельствуют значения, представленные в табл. 2.

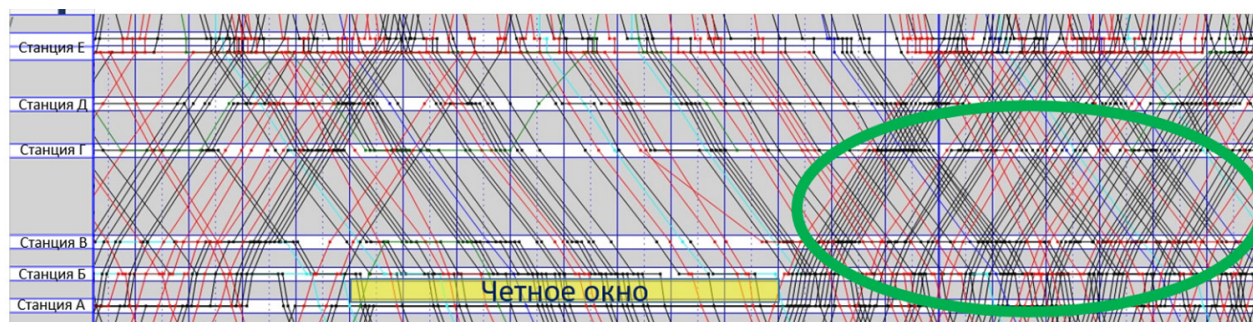
Для углубленного анализа причин медленного восстановления движения рассмотрим показатели «Среднесуточные задержки» из-за элементов инфраструктуры и загрузку этих элементов, отсортированных в порядке убы-

вания загрузки (табл. 3). Из десяти наиболее загруженных элементов семь — это бригады пунктов технического осмотра (ПТО) парков и участковых станций и три из них загружены более чем на 90 %.

Однако существует возможность усиления ПТО дополнительными бригадами, для ускорения выполнения технологических операций и тем самым снять ограничения по этому основанию. Теперь при моделировании без ограничений со стороны ПТО на графике движения поездов, представленном на рис. 5, четко прослеживается сгущение потока грузовых унифицированных поездов и возмож-

**Таблица 3. Среднесуточные задержки и загрузка инфраструктуры для варианта с реальной производительностью ПТО**

Элемент инфраструктуры, как причина задержек	Интервал 5 мин	
	Среднесуточные задержки, час	Загрузка, %
Бриг. ПТО Станция Ж, парк А	103,44	99,0
Бриг. ПТО Станция Ж, парк О	74,23	98,9
Бриг. ПТО Станция Ж, парк Т	93,09	91,5
Пути парка О станции Ж	80,15	89,0
Бриг. ПТО Станция А	51,45	88,7
Пути парка А станции Ж	73,46	82,0
Бриг. ПТО Станция Ж, парк Б	14,77	78,2
Бриг. ПТО Станция Б	12,88	74,3
Бриг. ПТО Станция З	13,41	71,3
Пути парка Т+Г станции Ж	11,47	57,7
Пути станции А	9,44	52,8
Пути станции Б	6,51	44,9
Нечетная горловина станции З	13,75	31,0
Пути парка ПОП станции И	9,68	11,9
Пути станции К	14,52	10,6



**Рис. 5.** Представление результатов моделирования отказа на графике движения поездов путем 8-часового перерыва в четном направлении движения при снятии ограничений по пропуску поездов со стороны ПТО (фрагмент участка А-К)

ность организации движения по виртуальной сцепке в пакетах от 3 до 10 поездов после завершения окна.

В результате показатели работы участка приходят в норму в два раза быстрее, т.е. уже к концу следующих суток влияние перерыва в движении не отражается на показателях работы участка (табл. 4).

Эксперимент со снятием ограничений пропускной способности участка из-за ПТО показывает, на сколько сократились задержки грузовых поездов на оставшихся ограничивающих элементах инфраструктуры (табл. 5). Изменил-

ся и порядок отсортированных по убыванию среднесуточных задержек из-за указанного элемента технического оснащения станций. Следует также обратить внимание, что загрузка элементов, приводящих к наибольшим потерям, теперь невелика.

### Заключение

Проведенная оценка влияния массового внедрения технологии группового автоведения на время восстановления движения на участке железной дороги после отказов показала следующее.

**Таблица 4. Восстановление работы участка после 8-часового перерыва в движении при использовании ВСЦ с интервалом 5 минут и снятием ограничений пропускной способности ПТО участковых станций**

Показатель	2 сутки	3 сутки (перерыв в движении)	4 сутки	5 сутки	6 сутки
Время нахождения, час	9,3 →	10,2 ↑	9,8 ↓	9,1 →	9,2 →
Задержки грузовых поездов (без тяжеловесных), час	252 →	470 ↑	426 ↓	251 →	252 →
Сданные четные поезда	138 →	124 ↓	158 ↑	140 →	141 →

**Таблица 5. Среднесуточные задержки и загрузка инфраструктуры при снятии ограничений со стороны ПТО**

Элемент инфраструктуры, как причина задержек	Интервал 5 мин	
	Среднесуточные задержки, час	Загрузка, %
<b>Нечетная горловина станции З</b>	<b>12:25</b>	28,4
<b>Четная горловина станции Б</b>	<b>9:19</b>	25,2
<b>Нечетная горловина станции И</b>	<b>9:13</b>	26,1
<b>Нечетная горловина станции А</b>	<b>7:46</b>	36,2
<b>Нечетная горловина станции Е</b>	<b>7:09</b>	28,2
Нечетная горловина парка Т+Г ст. Ж	6:55	22,8
Четная горловина парка станции Е	6:25	29,3
Нечетная горловина станции К	6:24	34,7
Нечетная горловина станции Л	5:50	37,1
Четная горловина станции И	5:31	21,1
Четная горловина станции З	5:10	30,4
Четная горловина станции М	4:36	36,5
Нечетная горловина станции Б	4:35	31,2
Четная горловина станции Н	4:32	37,6
Нечетная горловина парка Г ст. О	4:20	24,3

Групповое автоведение (виртуальная сцепка) позволит в перспективе сократить межпоездной интервал в пакете грузовых поездов до 5–6 минут.

На рассмотренном грузонапряженном участке с коэффициентом использования пропускной способности более 0,8 при возникновении 8-часового окна в одном направлении, например, в результате отказа, недостаточно резервов пропускной способности при существующем нормативном 8-минутном межпоездном интервале и восстановить движение без снижения потока поездов невозможно.

Применение технологии виртуальной сцепки позволяет восстановить движение при заданном потоке поездов за двое суток, при этом основные задержки возникают на ПТО, кото-

рые часто нарушают движение пакетов поездов в виртуальной сцепке, что снижает эффективность применения технологии.

Временное усиление пунктов ПТО дополнительными бригадами с целью снятия ограничения пропускной способности по этой причине позволяет восстановить движение в 2 раза быстрее (за сутки), обеспечив пропуск всего потока поездов. ▲

**Библиографический список**

1. Никитин А.Б., Бушуев С. В. Тенденции развития электрической сигнализации и компьютерных систем оперативного управления движением поездов на станциях // Транспорт Урала. 2006. № 2 (9). С. 14–18. EDN KDMJSH.
2. Оленцевич В.А., Упырь Р.Ю., Антипина А.А. Эффективность внедрения интервального ре-



- гулирования движения поездов по системе «виртуальная сцепка» на участке // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2020. № 2 (66). С. 182–189. [https://doi.org/10.26731/1813-9108.2020.2\(66\).182-189](https://doi.org/10.26731/1813-9108.2020.2(66).182-189). EDN CRLWQS.
3. Климова Е. В., Пилипушка Л. Е., Рябов В. С. Технология «виртуальной сцепки» поездов как инструмент повышения провозной и пропускной способности линии // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. 2019. Т. 1. С. 60–64. EDN SVYGCE.
  4. Бушуев С. В., Голочалов Н. С. Анализ способов повышения пропускной способности железных дорог // Транспорт Урала. 2023. № 1 (76). С. 42–50. <https://doi.org/10.20291/1815-9400-2023-1-42-50>. EDN QEOLTJ.
  5. Бушуев С. В. Пути повышения провозной способности участков железных дорог // Автоматика на транспорте. 2022. Т. 8, № 4. С. 343–353. <https://doi.org/10.20295/2412-9186-2022-8-04-343-353>. EDN FICKYY.
  6. ERTMS level 4, train convoys or virtual coupling / Mitchell and et al. // IRSE International Technical Committee — 2016. [Online]. Available: <http://www.irse.org/knowledge/publicdocuments/ITC%20Report%2039.pdf>
  7. Goikoetxea J. Roadmap towards the wireless virtual coupling of trains // International Workshop on Communication Technologies for Vehicles: Springer. 2016. P. 3–9.
  8. Schumann T. Increase of capacity on the shinkansen high-speed line using virtual coupling // International Journal of Transport Development and Integration. 2017. Vol. 1, no. 4. P. 666–676.
  9. Эсаулов В. А. Методы совершенствования технологии пропуска грузовых поездов на грузонапряженном направлении железной дороги: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Эсаулов Вячеслав Александрович, 2023. 138 с. EDN QARDAP.
  10. Комплексная технология интервального регулирования движения поездов / Воронин В. А., Гургенидзе И. Р., Дежков М. А. и др. // М. : АО «Т8 Издательские технологии», 2023. 216 с. ISBN 978-5-521-23792-0. EDN WTZMVC.
  11. Голочалов Н. С. Определение длины разгонного пути // Инновационный транспорт. 2023. № 3 (49). С. 41–47. <https://doi.org/10.20291/2311-164X-2023-3-41-47>. EDN IKCDEC.
  12. Тимухина Е. Н., Пермикин В. Ю., Кашеева Н. В. Метод выявления лимитирующих железнодорожных станций для пропуска тяжеловесных поездов на полигоне дороги // Транспорт Урала. 2017. № 1 (52). С. 40–44. <https://doi.org/10.20291/1815-9400-2017-1-40-44>. EDN YIACXR.
  13. Колокольников В. С., Фалалеева Т. А. Оценка взаимного влияния перерабатывающей способности станции и пропускной способности прилегающего перегона // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. 2023. № 1 (34). С. 72–78. EDN BDZGOJ.
  14. Козлов П. А. Оптимизация развития транспортных узлов и полигонов на основе имитационного моделирования // Бюллетень ученого совета АО «ИЭРТ». 2023. № 8–2. С. 30–40. EDN GEIEHV.
  15. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015662972 Российская Федерация. Система макро моделирования транспортных узлов и полигонов ИМЕТРА: № 2015619807: заявл. 15.10.2015: опубл. 08.12.2015 / П. А. Козлов, И. В. Иванов, В. Ю. Пермикин; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «Аналитические и управляющие системы на транспорте «Транспортный алгоритм». EDN NNWIRG.
  16. Козлов П. А., Колокольников В. С. Макроструктурный подход в исследовании железнодорожных станций // Транспорт Урала. 2017. № 2 (53). С. 3–7. <https://doi.org/10.20291/1815-9400-2017-2-3-7>. EDN YUNIJJ.
  17. Слободянюк И. Г. Функциональный подход к моделированию транспортных систем // Транспорт Урала. 2017. № 2 (53). С. 96–101. <https://doi.org/10.20291/1815-9400-2017-2-96-101>. EDN YUNJBR.

*TRANSPORT AUTOMATION RESEARCH. 2024. Vol. 10, no. 1. P. 64–73*  
 DOI: 10.20295/2412-9186-2024-10-01-64-73

## Restoration of traffic after failures using a virtual train coupling

### Information about authors

**Bushuev S. V.**, PhD in Engineering, Vice-rector for Research Work, Associate Professor<sup>1</sup>. E-mail: sbushuev@usurt.ru

**Kovalev I. A.**, PhD in Engineering, Associate Professor<sup>2</sup>. E-mail: ikovalev@usurt.ru

Ural State University of Railway Transport, Department of Automation, Remote Control and Communications in Railway Transport<sup>1</sup>, Department of Operations Management<sup>2</sup>

**Abstract.** The article examines the influence of group automatic train operation technology (virtual coupling) on accelerating the process of restoring traffic after a failure with a break in traffic on a railway section. Possible train-to-train intervals have been determined: calculated and statistical estimates taking into account real traffic conditions on the section and using virtual coupling technology. At the same time, the influence of energy supply shortage was not considered; it is assumed that in the process of mass implementation of group automatic train operation technology, the energy supply system will be strengthened to ensure the capabilities of automation systems. Simulation modeling of the operation of a railway section in the IMETRA system (macromodeling system for transport junctions and grounds) was carried out in order to comprehensively assess the impact of the introduction of group automatic train operation on the performance of the section in normal operation and after restoration of traffic in the case of a long-term (8 hours) failure of technical means. The possibility of strengthening technical inspection points with additional teams has been considered to speed up the restoration of traffic after failure of technical means.

**Keywords:** railway line capacity, train-to-train interval, headway automatic train control system, virtual coupling, group automatic train operation, IMETRA system, simulation modeling, train schedule.

### References

- Nikitin A. B. Tendencii razvitiya elektricheskoy signalizatsii i komp'yuternykh sistem operativnogo upravleniya dvizheniem poezdov na stantsiyah / A. B. Nikitin, S. V. Bushuev // *Transport Urala*. 2006. № 2 (9). S. 14–18. EDN KDMJSH. (In Russian)
- Olencevich V. A. Effektivnost' vnedreniya interval'nogo regulirovaniya dvizheniya poezdov po sisteme "virtual'naya scepka" na uchastke / V. A. Olencevich, R. YU. Upry', A. A. Antipina // *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovanie*. 2020. № 2 (66). S. 182–189. DOI 10.26731/1813–9108.2020.2(66).182–189. EDN CRLWQS. (In Russian)
- Klimova E. V. Tekhnologiya "virtual'noj scepki" poezdov kak instrument povysheniya provoznoy i propusknoy sposobnosti linii / E. V. Klimova, L. E. Pilipushka, V. S. Ryabov // *Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona*. 2019. T. 1. S. 60–64. EDN SVYGCE. (In Russian)
- Bushuev S. V., Golochalov N. S. Analiz sposobov povysheniya propusknoy sposobnosti zhelezných dorog // *Transport Urala*. 2023. № 1 (76). S. 42–50. DOI 10.20291/1815–9400–2023–1–42–50. EDN QEOLTJ. (In Russian)
- Bushuev S. V. Puti povysheniya provoznoy sposobnosti uchastkov zhelezných dorog // *Avtomatika na transporte*. 2022. T. 8, № 4. S. 343–353. DOI 10.20295/2412–9186–2022–8–04–343–353. EDN FICKYY. (In Russian)
- ERTMS level 4, train convoys or virtual coupling / Mitchell and et al. // *IRSE International Technical Committee* — 2016. [Online]. Available: <http://www.irse.org/knowledge/publicdocuments/ITC%20Report%2039.pdf>
- Goikoetxea J. Roadmap towards the wireless virtual coupling of trains // *International Workshop on Communication Technologies for Vehicles: Springer*. 2016. P. 3–9.
- Schumann T. Increase of capacity on the shinkansen high-speed line using virtual coupling // *International Journal of Transport Development and Integration*. 2017. Vol. 1, no. 4. P. 666–676.
- Esaulov V. A. Metody sovershenstvovaniya tekhnologii propuska gruzovykh poezdov na gruzonapryazhennom napravlenii zheleznoy dorogi: dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk / Esaulov Vyacheslav Aleksandrovich, 2023. 138 s. EDN QARDAP. (In Russian)
- Kompleksnaya tekhnologiya interval'nogo regulirovaniya dvizheniya poezdov. / V. A. Voronin, I. R. Gurgenidze, M. A. Dezhkov [i dr.]. — M.: AO «18 Izdatel'skie tekhnologii», 2023. 216 s. ISBN 978–5–521–23792–0. EDN WZMVC. (In Russian)
- Golochalov N. S. Opreделение dliny razgonnogo puti / N. S. Golochalov // *Innovatsionnyy transport*. 2023. № 3 (49). S. 41–47. DOI 10.20291/2311–164X–2023–3–41–47. EDN IKCDEC. (In Russian)
- Timuhina E. N. Metod vyyavleniya limitiruyushchikh zheleznodorozhnykh stantsiy dlya propuska tyazhelovesnykh poezdov na poligone dorogi / E. N. Timuhina, V. YU. Permikin, N. V. Kashcheeva // *Transport Urala*. 2017. № 1 (52). S. 40–44. DOI 10.20291/1815–9400–2017–1–40–44. EDN YIACXR. (In Russian)
- Kolokol'nikov V. S. Ocenka vzaimnogo vliyaniya pererabatyvayushchey sposobnosti stantsii i propusknoy sposobnosti prilgayushchego pereгона / V. S. Kolokol'nikov, T. A. Falaleeva // *Transport Aziatsko-Tihookeanskogo regiona*. 2023. № 1 (34). S. 72–78. EDN BDZGOJ. (In Russian)
- Kozlov P. A. Optimizatsiya razvitiya transportnykh uzlov i poligonov na osnove imitacionnogo modelirovaniya / P. A. Kozlov // *Byulleten' uchenogo soveta AO "IERT"*. 2023. № 8–2. S. 30–40. EDN GEIEHV. (In Russian)
- Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM № 2015662972 Rossiyskaya Federatsiya. Sistema makromodelirovaniya transportnykh uzlov i poligonov IMETRA: № 2015619807: zayavl. 15.10.2015: opubl. 08.12.2015 / P. A. Kozlov, I. V. Ivanov, V. YU. Permikin; zayavitel' Obshchestvo s ogranichennoy otvetstvennost'yu "Analiticheskie i upravlyayushchie sistemy na transporte "Transportnyy algoritim". EDN NNWIRG. (In Russian)
- Kozlov P. A. Makrostrukturnyy podhod v issledovanii zheleznodorozhnykh stantsiy / P. A. Kozlov, V. S. Kolokol'nikov // *Transport Urala*. 2017. № 2 (53). S. 3–7. DOI 10.20291/1815–9400–2017–2–3–7. EDN YUNIUI. (In Russian)
- Slobodyanyuk I. G. Funktsional'nyy podhod k modelirovaniyu transportnykh sistem / I. G. Slobodyanyuk // *Transport Urala*. 2017. № 2(53). S. 96–101. DOI 10.20291/1815–9400–2017–2–96–101. EDN YUNJBR. (In Russian)