

На правах рукописи



**Голочалов Николай Сергеевич**

**ПОВЫШЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ  
ЗА СЧЕТ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ РАБОТЫ УСТРОЙСТВ  
АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ**

2.9.4 Управление процессами перевозок (технические науки)

**Автореферат**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Екатеринбург – 2023

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО УрГУПС).

**Научный руководитель** – кандидат технических наук, доцент  
Бушуев Сергей Валентинович

**Официальные оппоненты:**

Розенберг Ефим Наумович, доктор технических наук, профессор, открытое акционерное общество «Научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт информатизации и связи на железнодорожном транспорте» (ОАО «НИИАС»), первый заместитель генерального директора;

Климова Екатерина Викторовна, кандидат экономических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО СГУПС), кафедра «Управление эксплуатационной работой», заведующий НИЛ «Совершенствование перевозочного процесса».

**Ведущая организация:**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»

Защита диссертации состоится «20» декабря 2023 г. в 11 часов 00 минут на заседании диссертационного совета 44.2.008.01 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО УрГУПС) по адресу: 620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова 66, ауд. Б2-15 – зал диссертационного совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения». Адрес сайта, на котором размещены диссертация и автореферат: <https://www.usurt.ru>.

Автореферат диссертации разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Колясов Константин Михайлович

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Железнодорожные перевозки всегда занимали особое место в экономике России. В настоящее время происходит перенаправление грузопотоков в сторону Юга и Востока, отмечаются тенденции роста пассажирских перевозок. Правительством РФ поставлены задачи по развитию пропускных способностей коридора Север-Юг. В соответствии со стратегией научно-технологического развития холдинга «РЖД» одним из основных направлений является разработка и внедрение перспективных технических средств хозяйства автоматики и телемеханики, которые должны обеспечить требуемую пропускную способность.

Развитие локомотивных систем безопасности движения привело к тому, что уже сейчас возможно движение грузовых поездов на желтый сигнал проходного светофора большинства участков со скоростью более 60 км/ч за счет применения технологии виртуальной сцепки, при которой расчет кривой допустимой скорости осуществляется с учетом информации о движении впереди идущего поезда, передаваемой между локомотивами по радиоканалу. Благодаря этому, между поездами на перегонах возможно уменьшение разграничивающего интервала без снижения скорости. На участках с интенсивным движением можно получить фактический межпоездной интервал меньше, чем запроектированный для трехзначной автоблокировки, если обеспечить соответствующее уменьшение интервала попутного отправления.

Существующие алгоритмы станционной автоматики позволяют выполнять попутное отправление поездов при освобождении хвостом уходящего поезда хотя бы одного участка удаления. На некоторых станциях возможно уменьшение интервала попутного отправления за счет применения известных технических решений по установке первого проходного светофора в створе со входным, либо за счет применения дифференцированных участков удаления, длина которых будет зависеть от того, с какого пути отправляется поезд. Применение существующих способов не может в полной мере обеспечить необходимые интервалы между поездами в виртуальной сцепке. Поэтому возникает необходимость в исследовании возможностей существующих станционных систем железнодорожной автоматики и телемеханики и разработке технико-технологических решений по реализации интервалов попутного отправления и прибытия, меньших, чем было заложено при проектировании участка.

**Степень разработанности темы исследования.** Значительный вклад в развитие перегонных и станционных систем автоматики и телемеханики внесли ученые: Бестемьянов П.Ф., Брылеев А.М., Бушуев С.В., Воронин В.А., Гавзов Д.В., Кокурин И.М., Линьков В.И., Ляной В.В., Никитин А.Б., Переборов А.С., Розенберг Е.Н., Сапожников В.В., Сапожников Вл.В., Шаманов В.И., Шалягин Д.В. и другие.

Большой вклад в изучение вопросов пропускной способности и технологии работы станций сделали ученые: Александров А.Э., Бородин А.Ф., Бессоненко С.А. Козлов П.А., Колокольников В.С., Климова Е.В., Левин Д.Ю., Тимухина Е.Н., Тушин Н.А., и другие.

Развитием локомотивных систем безопасности движения занимались ученые: Абрамов В.М., Баранов Л.А., Головин В.И., Ерофеев Е.В., Кравцов Ю.А., Никифоров Б.Д., Наговицын В.С. и другие.

Исследованием вопросов интервального регулирования движения поездов с применением радиоканала занимались зарубежные ученые: F. Flammini, S. Marrone, T. Dick, Shaofeng Lu, Jing Xun, Yafei Liu и другие.

**Область исследований** соответствует паспорту специальности 2.9.4 Управление процессами перевозок (технические науки), а именно пункту 6 «Системы и устройства автоматики и телемеханики, предназначенные для управления перевозочным процессом, их эксплуатация, методы построения и испытания».

**Объектом исследования** является интервальное регулирование движения поездов с использованием технологии виртуальной сцепки.

**Предметом исследования** являются алгоритмы управления устройствами автоматики и телемеханики.

**Цель исследования** – совершенствование систем железнодорожной автоматики и телемеханики для повышения пропускной способности участков железных дорог при использовании технологии виртуальной сцепки.

**Задачи исследования.** Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Проанализировать способы повышения пропускной способности участков железных дорог.
2. Разработать методику моделирования движения поездов на основе данных о фактическом движении поездов.

3. Определить требования к станционным системам автоматики и телемеханики на основании моделирования попутного отправления и прибытия поездов в виртуальной сцепке.

4. Разработать технические решения, позволяющие выполнять попутное отправление поездов в виртуальной сцепке с интервалом времени меньшим, чем расчетный при трехблочном разграничении движения поездов.

**Научная новизна.** В результате исследований впервые разработаны и представлены:

1. Методика моделирования движения поездов на основе спрогнозированных с помощью регрессионной модели значений ускорений, полученных в зависимости от скорости поезда, массы поезда, уклона пути и процента используемой силы тяги.

2. Метод определения длины разгонного пути в зависимости от интервала попутного отправления поездов, времени подготовки маршрута, массы поездов и процента используемой силы тяги.

3. Технические решения для железнодорожных систем автоматики, позволяющие выполнять безопасное попутное отправление грузовых поездов, использующих технологию виртуальной сцепки, с интервалом времени, соответствующим интервалу при двухблочном разграничении движения поездов.

**Теоретическая значимость** заключается в исследовании взаимосвязи массы поездов, скорости, процента используемой силы тяги и уклона пути с интервалами попутного отправления и прибытия.

1. Построена регрессионная модель линейного типа, позволяющая прогнозировать ускорение поезда в зависимости массы поезда, скорости, процента используемой силы тяги и уклона пути. С использованием регрессионной модели проведено моделирование движения поездов при попутном отправлении и прибытии:

– определены интервалы попутного отправления, при которых потребуется строительство разгонного пути;

– определены интервалы попутного отправления, при которых обеспечивается движение поездов с двухблочным разграничением к концу второго участка удаления;

– определены интервалы попутного прибытия, в зависимости от тормозного коэффициента, при которых не возникает задержек приема поездов.

2. Разработана модель отправления поездов по разгонному пути, позволяющая определить длину требуемого разгонного пути в зависимости от интервала

попутного отправления, массы и скорости поездов, уклона пути, времени необходимого для задания маршрута ведомому поезду.

**Практическая значимость.** На основании результатов исследования разработаны технические решения для микропроцессорной централизации МПЦ-МПК (ЦКЖТ.665211.010.Д9-ТР), позволяющие выполнять отправление поездов в виртуальной сцепке с интервалом попутного отправления, соответствующим интервалу двухблочного разграничения движения поездов. Результаты исследования использовались в научно-исследовательской работе «Управление потоком поездов на основе интеллектуализации локомотива и цифровой радиосвязи» (рег. № АААА-А20-120042190034-0).

**Методология и методы исследования.** Для решения поставленных задач применялись методы формализации и математического представления, метод численного моделирования, методы регрессионного анализа, сети Петри.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Регрессионная модель, позволяющая прогнозировать значения ускорения поезда в зависимости от массы поезда, скорости, процента используемой силы тяги и уклона пути;

2. Метод определения длины разгонного пути, позволяющий получить численные оценки необходимого строительства нового пути, в зависимости от интервала попутного отправления, уклона пути, процента используемой силы тяги и массы отправляющихся поездов;

3. Алгоритмы работы устройств автоматики и телемеханики, позволяющие выполнять попутное отправление поездов в виртуальной сцепке, для реализации движения поездов с двухблочным разграничением.

**Степень достоверности результатов** подтверждается логичным построением процесса исследования, корректным использованием математических методов, проведенной верификацией на основе сравнения кривых скоростей движения поезда, полученных по результатам моделирования, с фактически реализованными кривыми и построенными по результатам тягового расчета, а также использованием при моделировании информации о длинах реальных блок-участков, полученной из электронных карт локомотивных систем безопасности движения.

**Апробация результатов работы.** Основные положения и результаты исследования докладывались и обсуждались на конференциях:

– «Транспортные интеллектуальные системы – 2019». II Научно-методическая конференция. 26-27 сентября 2019 г., г. Санкт-Петербург;

– «Транспорт Урала – 2019». Всероссийская научно-техническая конференция. 5 декабря 2019 г., г. Екатеринбург;

– «Интеллектуальные технологии на транспорте и в гражданском строительстве». Научно-практическая конференция. 15 апреля 2021 г., г. Санкт-Петербург;

– «Транспорт: проблемы, идеи, перспективы». LXXXI Всероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. 19-26 апреля 2021 г., г. Санкт-Петербург;

– «Железнодорожный транспорт и технологии (Railway transport and technologies, РТТ-2021)». Международная научно-практическая конференция. 24-25 ноября 2021 г., г. Екатеринбург;

– «Транспорт: логистика, строительство, эксплуатация, управление». Международная научно-практическая конференция. 17 марта 2022 г., г. Екатеринбург;

– «Железнодорожный транспорт и технологии (Railway transport and technologies, РТТ-2022)». Международная научно-практическая конференция. 29-30 ноября 2022 г., г. Екатеринбург;

– «Транспорт: проблемы, идеи, перспективы». LXXXIII Всероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. 17-24 апреля 2023 г., г. Санкт-Петербург.

**Публикации.** По теме исследования опубликовано семь печатных работ, в том числе четыре в изданиях, входящих в перечень рецензируемых научных изданий ВАК.

**Структура и объем работы.** Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа представлена на 182 страницах, содержит 126 страниц основного текста, 56 рисунков, 9 таблиц и 3 приложения на 22 страницах. Список литературы включает 193 наименования.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** даётся обоснование актуальности темы исследования, степень ее разработанности, формулируются объект, предмет, цель и задачи исследования, приводится научная новизна, теоретическая и практическая значимости, методология и методы исследования, излагаются основные положения, выносимые на защиту, сведения по апробации и степени достоверности результатов исследования.

**В первой главе** приводится анализ способов повышения пропускной способности участков железных дорог. Одним из перспективных способов повышения пропускной способности является применение технологии виртуальной сцепки поездов. Технология виртуальной сцепки обеспечивает движение двух и более последовательно идущих поездов в режиме автоведения с учетом динамических свойств впередиидущего, за счет организации постоянного обмена информацией между локомотивами по радиоканалу.

За счет применения технологии виртуальной сцепки можно перейти к движению с двухблочным разграничением поездов («под зеленый на желтый») без снижения скорости, тем самым повышая пропускную способность участка. В настоящий момент, при движении поездов, использующих виртуальную сцепку, не удастся в полной мере реализовать потенциал повышения пропускной способности, поскольку существующие системы автоматики не обеспечивают новые требования к интервалу попутного отправления и прибытия поездов.

На рисунке 1 представлена диаграмма причинно-следственных связей, описывающая действия, необходимые для повышения пропускной способности при использовании технологии виртуальной сцепки.

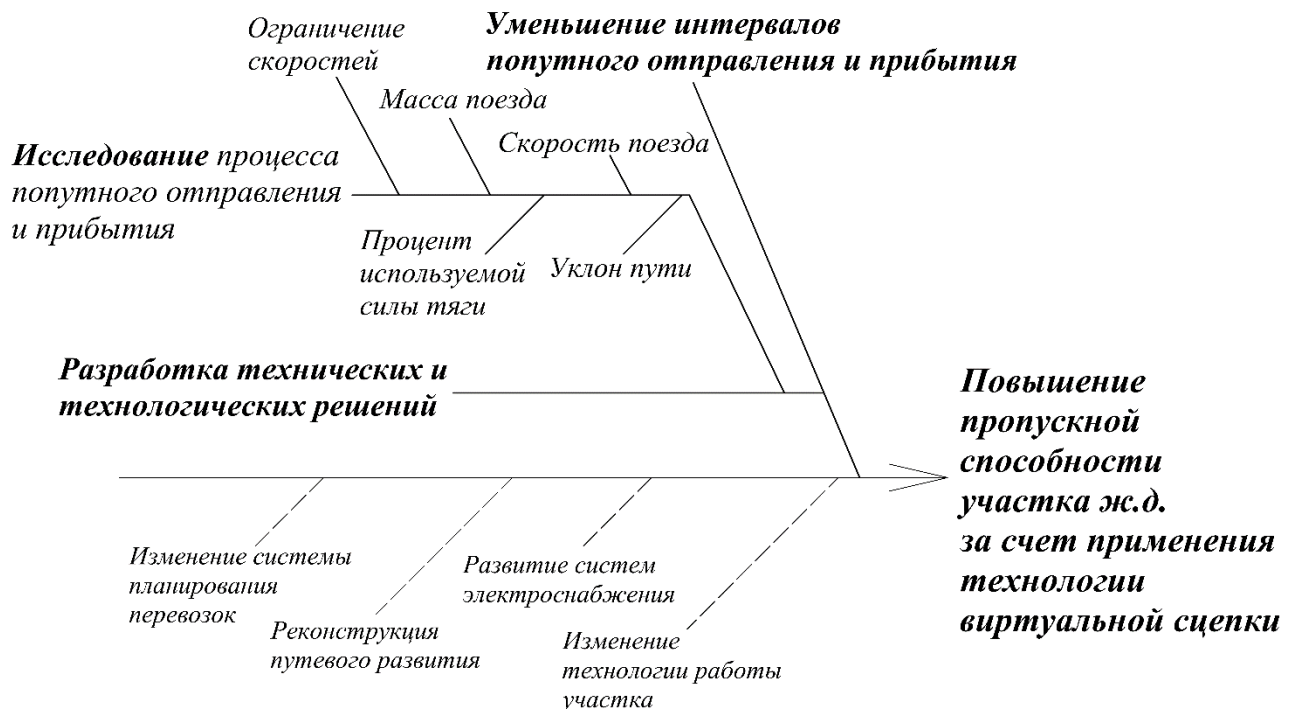


Рисунок 1 – Повышение пропускной способности участка железных дорог за счет применения технологии виртуальной сцепки

Для разработки технических и технологических решений, позволяющих уменьшать интервалы попутного отправления, потребуется исследовать влияние



таких факторов как масса поезда, процент используемой силы тяги, уклон пути и ограничения скоростей на процессы попутного отправления и прибытия. Необходимо отметить, что интенсификация движения потребует также рассмотрения вопросов, связанных с организацией движения, планированием перевозок, реконструкцией путевого развития и совершенствованием систем электроснабжения.

**Во второй главе** проведено сравнение способов моделирования движения поездов, приведены преимущества и недостатки. Сравнительный анализ кривых скоростей поезда, построенных по тяговому расчету, и реальных кривых показал отличие режимов ведения поезда при фактическом движении поездов. Поэтому существует необходимость разработки методики моделирования движения поезда с учетом статистических данных о движении поездов.

На основании статистических данных построена модель множественной линейной регрессии для прогнозирования ускорения поезда в зависимости от скорости поезда, уклона пути и процента используемой силы тяги. Регрессионная модель используется для построения кривой скорости поезда. Вычислить скорость и пройденный путь при разгоне поезда можно используя выражения (1), (2) и (3):

$$a_i = k_1 \theta_{i-1} + k_2 V_{i-1} + k_3 u_{\text{ПР}i-1} + \xi, \quad (1)$$

$$V_i = V_{i-1} + a_i \Delta t, \quad (2)$$

$$S_i = S_{i-1} + \left( \frac{V_i + V_{i-1}}{2} \right) \Delta t, \quad (3)$$

где  $a_i$  – ускорение поезда на  $i$  шаге интегрирования, м/с<sup>2</sup>;  
 $k_1, k_2, k_3$  – коэффициенты уравнения линейной регрессии;  
 $V_{i-1}$  – скорость поезда на  $i-1$  шаге интегрирования, м/с;  
 $\theta_{i-1}$  – процент используемой силы тяги на  $i-1$  шаге интегрирования;  
 $u_{\text{ПР}i-1}$  – средневзвешенный по длине поезда уклон пути на  $i-1$  шаге интегрирования, %;  
 $\xi$  – свободный параметр уравнения регрессии, м/с<sup>2</sup>;  
 $V_i$  – скорость поезда на  $i$  шаге интегрирования, м/с;  
 $S_i$  – пройденный путь на  $i$  шаге интегрирования, м;  
 $S_{i-1}$  – пройденный путь на  $i-1$  шаге интегрирования, м;  
 $\Delta t$  – шаг интегрирования.

Моделирование торможения поезда основано на использовании ускорения торможения, полученного, в зависимости от скорости, по табличным значениям тормозных путей, взятых из правил технической эксплуатации тормозного оборудования.

С учетом 95% доверительного интервала среднее значение отклонения моделируемой скорости при разгоне поездов составляет минус  $0,01 \pm 5,7$  км/ч, отклонение пройденного пути минус  $193 \pm 223$  м от фактически зафиксированных системой регистрации параметров движения локомотива. При торможении поездов отклонение моделируемой скорости составляет  $0,96 \pm 4,10$  км/ч, отклонение пройденного пути  $88 \pm 140$  м. Полученные значения отклонений являются допустимыми для моделирования движения поездов в виртуальной сцепке с точки зрения решаемой задачи.

Представленная методика моделирования движения поездов позволяет строить кривые скорости поезда с учетом данных о фактическом движении поездов.

**В третьей главе** на основе проведенного моделирования сформулированы требования к технологии работы станции и системам автоматики при попутном отправлении и приеме поездов, использующих технологию виртуальной сцепки.

В настоящее время принятое расстояние виртуальной сцепки составляет 7000-8000 м, что соответствует трехблочному разграничению движения поездов. Применение технологии виртуальной сцепки на существующих участках с автоблокировкой позволяет сблизить поезда до расстояния не менее суммарной длины двух блок-участков, в таком случае расстояние виртуальной сцепки может составлять 4000-5000 м.

Для определения требований к системам автоматики проводилось моделирование попутного отправления, целью которого являлось определение таких начальных условий, при которых поезда в виртуальной сцепке при отправлении выходят на заданное расстояние виртуальной сцепки к концу заданного участка пути разгона:

$$S'_x(t^* + I_{\text{ПО}}) - S''(t^*) \geq L_p, \text{ при } S''(t^*) = L_y, \quad (4)$$

где  $S'_x(t^* + I_{\text{ПО}})$  – пройденный путь хвостом ведущего поезда в момент времени достижения головой ведомого поезда ординаты конца второго участка удаления, м;

$I_{\text{ПО}}$  – интервал попутного отправления, с;

$S''(t^*)$  – пройденный путь головой ведомого поезда в момент достижения ординаты конца второго участка удаления, м;

$L_p$  – расстояние виртуальной сцепки, м;

$L_y$  – длина участка пути разгона поездов в виртуальной сцепке, м.

Под участком пути разгона поездов в виртуальной сцепке понимается расстояние от выходного светофора до точки выхода на заданную дистанцию виртуальной сцепки (предлагается рассматривать случаи, когда данное расстояние не более суммарной длины горловины и двух участков удаления рисунок 2).

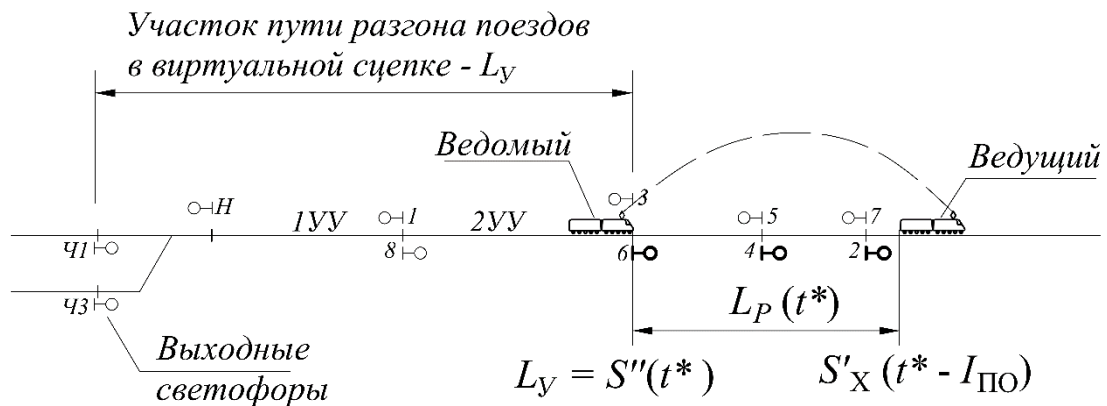


Рисунок 2 – Момент начала движения поездов с двухблочным разграничением

В результате проведенного моделирования попутного отправления (рисунок 3), определены минимальные интервалы, в зависимости от процента используемой силы тяги, при которых отправление происходит на зеленый и желтый сигналы выходного светофора, а также условия, при которых потребуется отправлять ведомый поезд по разгонному пути. При отправлении на зеленый или на желтый сигнал выходного светофора, временной интервал между поездами больше, чем требуемый для движения с двухблочным разграничением. Для того, чтобы поезда после отправления выходили на движение с двухблочным разграничением, необходимо выполнять отправление с такими интервалами, при которых первый участок удаления, а иногда и часть выходной горловины, заняты хвостом уходящего поезда. Поэтому включение желтого сигнала выходного светофора при существующих алгоритмах работы систем автоматики невозможно.

Для расстояния виртуальной сцепки 5000 м, такие условия на рисунке 3 обозначены линиями 1 и 2, отличающимися длиной участка пути разгона поездов в виртуальной сцепке. Чем больше участок пути разгона, тем меньшие интервалы попутного отправления можно реализовать, но при низком проценте используемой силы тяги может потребоваться строительство разгонного пути.

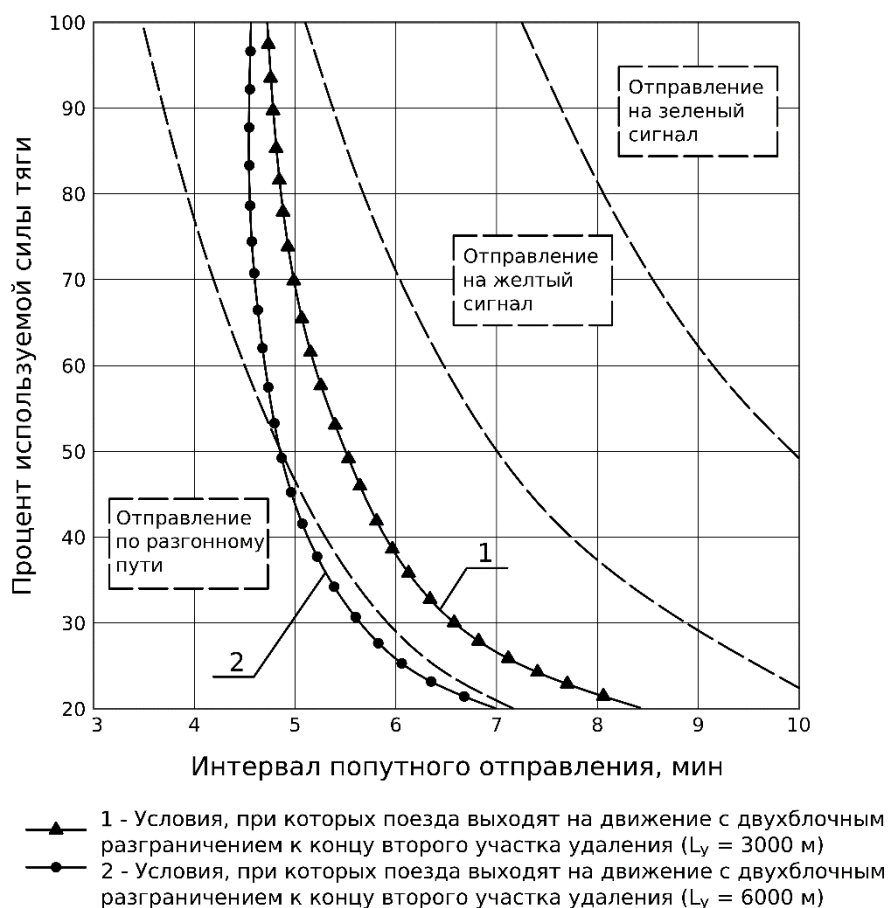


Рисунок 3 – Результаты моделирования попутного отправления поездов в виртуальной сцепке (расстояние виртуальной сцепки 5000 м)

Также стоит отметить, что на необходимость строительства разгонного пути значительное влияние оказывает выбранное расстояние виртуальной сцепки. Так при расстоянии виртуальной сцепки 5000 м (рисунок 3), почти все случаи отправления происходят без применения разгонного пути, а при уменьшении расстояния до 4000 м требуется разгонный путь.

Применение технологии виртуальной сцепки для повышения пропускной способности за счет перехода к движению с двухблочным разграничением требует разработки и применения технических решений систем автоматики, позволяющих отправлять поезда при занятом участке удаления, а в некоторых случаях еще и строительства разгонного пути.

Уменьшение интервалов по отправлению позволяет поездам в виртуальной сцепке двигаться по перегону с двухблочным разграничением, при этом необходимо проверить, что межпоездной интервал будет достаточным для выполнения попутного прибытия без вынужденного снижения скорости ведомого поезда. Для этого промоделированы различные схемы попутного прибытия поездов (рисунок 4).

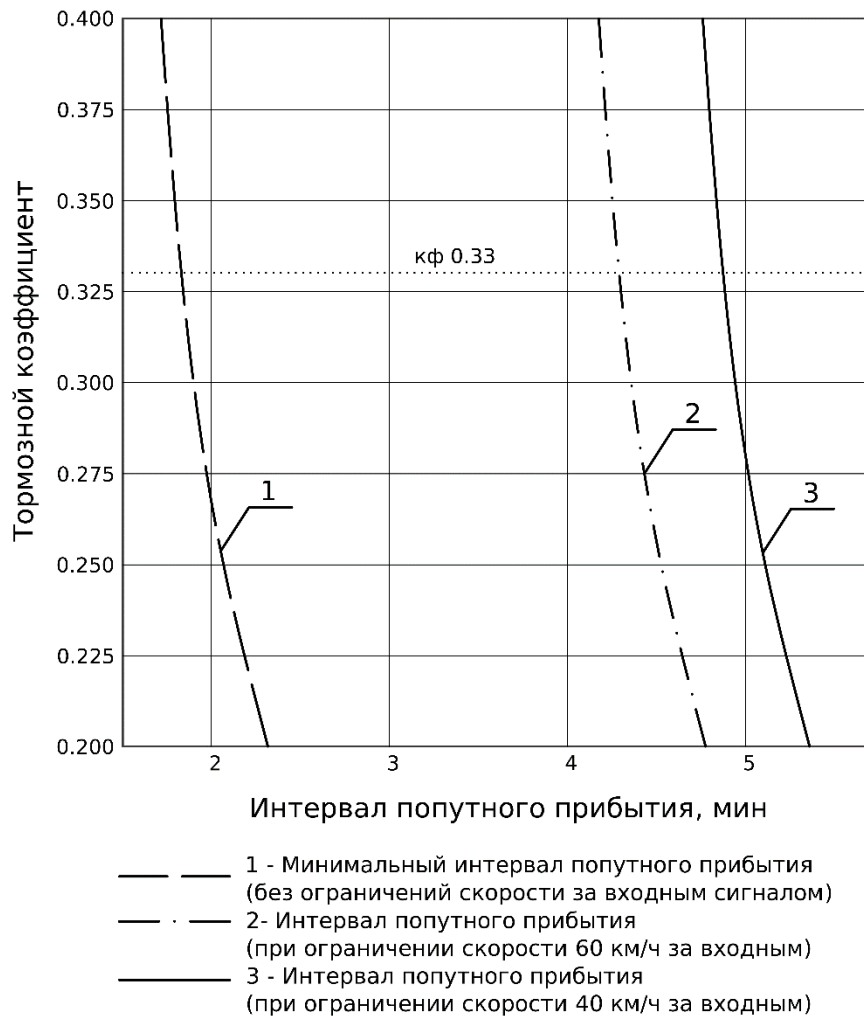


Рисунок 4 – Результаты моделирования попутного прибытия поездов

На рисунке 4 представлены результаты моделирования попутного прибытия поездов при различных вариантах ограничений скорости за входным светофором. Наименьший интервал попутного прибытия достигается путем снятия всех ограничений скорости на станции (линия №1 на рисунке 4) и составляет от 1,5 до 2,5 мин в зависимости от тормозного коэффициента. Такой вариант возможен только при полном переходе на координатную систему интервального регулирования движения поездов.

Наилучшим, с точки зрения обеспечения движения поездов в виртуальной сцепке без задержек при входе на станцию, является такой интервал, при котором учитывается время на принятие решения о выполнении прицельного торможения к закрытому входному светофору. При этом необходимо учесть снижение скорости поездов за входным сигналом. Разница в интервалах попутного прибытия при ограничении скорости 40 км/ч и 60 км/ч за входным светофором составляет около 30 с, а значения интервалов прибытия находятся в диапазоне от 4 до 5,5 мин в зависимости от тормозного коэффициента поезда.

Таким образом, для обеспечения движения поездов в виртуальной сцепке с интервалом времени, соответствующим двухблочному разграничению движения поездов, необходимо согласовать уменьшение интервала попутного отправления с интервалом попутного прибытия.

В случае необходимости применения разгонного пути при попутном отправлении поездов в виртуальной сцепке возникает вопрос определения наименьшей длины разгонного пути, при которой возможно реализовать требуемый интервал отправления при сохранении безопасности движения.

Сложность отправления по разгонному пути заключается в том, что между разгоняющимися поездами необходимо перевести стрелку и задать маршрут, при этом необходимо учесть запас по времени на принятие решения о продолжении разгона или о начале выполнения остановки поезда, в случае неисправности (рисунки 5). Помимо этого, длина разгонного пути будет зависеть от времени перевода стрелки разгонного пути, которое будет заложено при расчетах, скорости изменения расстояния между поездами и тормозного пути ведомого поезда (5).

$$L_{\text{РП}} = S''(t^* - I_{\text{ПО}} + t_{\text{ПР}}) + S''_{\text{ТП}}(t^* - I_{\text{ПО}} + t_{\text{ПР}}) + S_3, \quad (5)$$

где  $L_{\text{РП}}$  – длина разгонного пути, м;  
 $t^*$  – момент времени, когда расстояния между поездами достаточно для перевода стрелки разгонного пути, с;  
 $t_{\text{ПР}}$  – время, необходимое на принятие решения о продолжении разгона или о выполнении остановки поезда, с;  
 $I_{\text{ПО}}$  – интервал попутного отправления ведомого поезда, с;  
 $S''(t^* - I_{\text{ПО}} + t_{\text{ПР}})$  – пройденный путь головой ведомого поезда в начале участка принятия решения, м;  
 $S''_{\text{ТП}}(t^* - I_{\text{ПО}} + t_{\text{ПР}})$  – длина тормозного пути ведомого поезда в конце участка принятия решения, м;  
 $S_3$  – длина некодированного защитного участка перед светофором ограждающим стрелку разгонного пути, м.

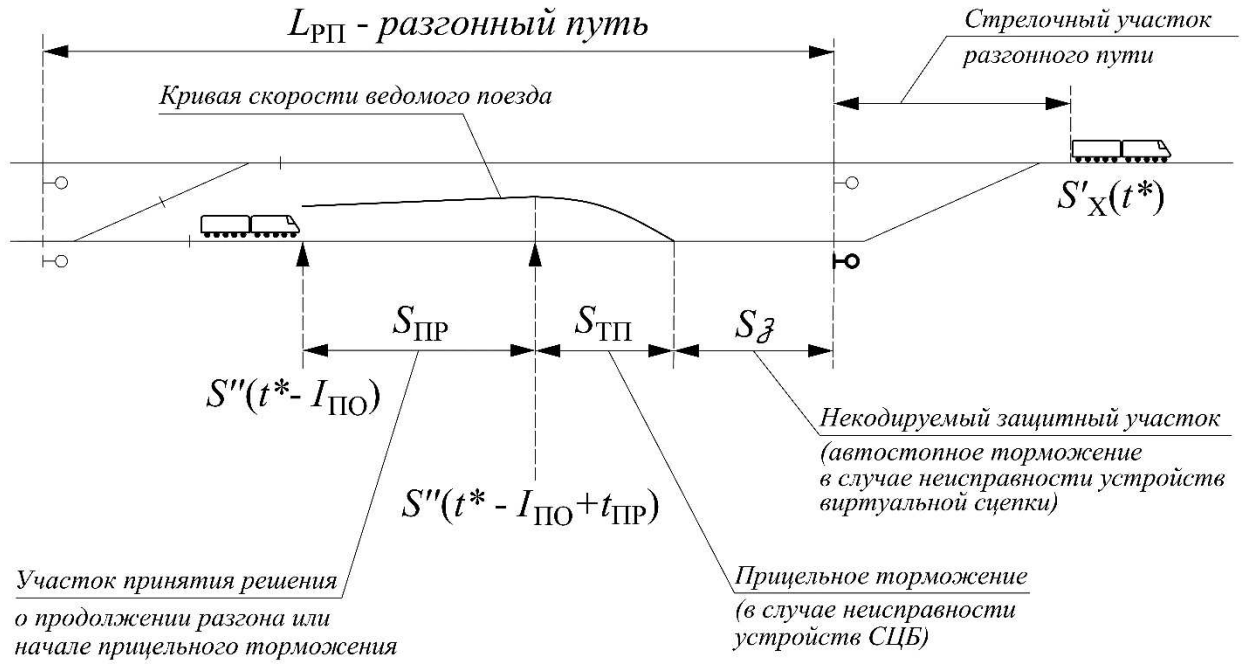


Рисунок 5 – Определение длины разгонного пути

По результатам расчетов для разных значений интервала попутного отправления и процента используемой силы тяги получены значения длин разгонного пути (рисунок 6).

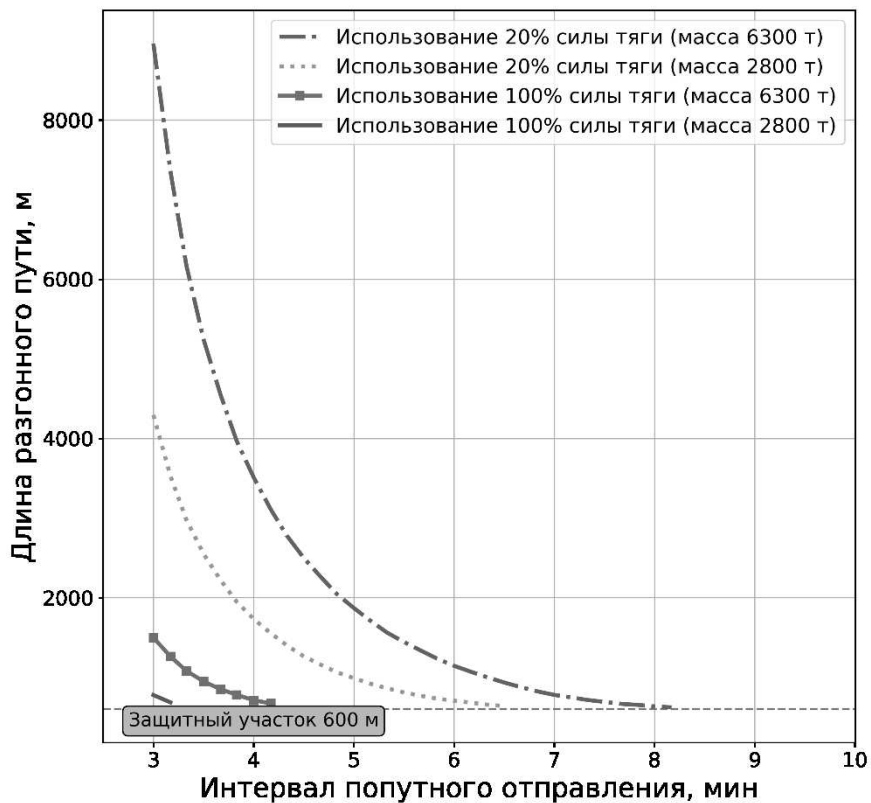


Рисунок 6 – Зависимость длины разгонного пути от процента используемой силы тяги

Минимальная длина разгонного пути ограничивается длиной защитного участка перед светофором, ограждающим стрелку разгонного пути. Длина защитного участка должна быть достаточной для выполнения торможения поезда при превышении скорости. При 100% использовании силы тяги на горизонтальном участке пути достаточным будет строительство разгонного пути длиной 1800 м, чтобы обеспечить отправление поездов массой до 6300 т с интервалами 3-4 мин. При необходимости организации движения поездов с низкими ускорениями (тяжелые поезда или отсутствует возможность использования полной силы тяги) при межпоездных интервалах 3-4 мин, длина требуемого разгонного пути будет сопоставима с длиной третьего главного пути перегона.

**В четвертой главе** приводятся разработанные технические решения станционных систем автоматики, а также описывается специальный технологический режим работы станции при отправлении поездов в виртуальной сцепке с уменьшенным, относительно расчетного, интервалом времени.

Из-за недостаточного ускорения разгона грузовых поездов, отправление ведомого поезда может происходить в момент времени, когда хвост ведущего поезда еще находится на станции. Системы автоматики не должны препятствовать набору скорости ведомым поездом, но при этом должны по-прежнему обеспечить достаточный для торможения безопасный интервал между поездами в виртуальной сцепке и автоматическое торможение ведомого поезда в случае нештатных ситуаций. Важно обеспечить передачу на ведомый локомотив кодов автоматической локомотивной сигнализации, позволяющих выполнять набор скорости, в случае исправной работы устройств, а также передачу кода «КЖ» требующего от машиниста выполнения полной остановки, в случае возникновения нештатной ситуации (отказ напольных устройств или системы автоведения). При отказе или сбое систем виртуальной сцепки машинисту ведомого поезда неизвестна координата точки остановки поезда, поэтому возникает необходимость предусмотреть установку дополнительных светофоров, информирующих машиниста о свободности впереди лежащего участка пути и обозначающих места остановки поезда.

Количество и места установки дополнительных светофоров определяются исходя из требуемого межпоездного интервала при двухблочном разграничении (рисунок 7). Расстановка дополнительных светофоров производится до той точки пути, в которой между поездами становится более двух свободных блок-участков существующей автоблокировки. Если по результатам расчетов требу-





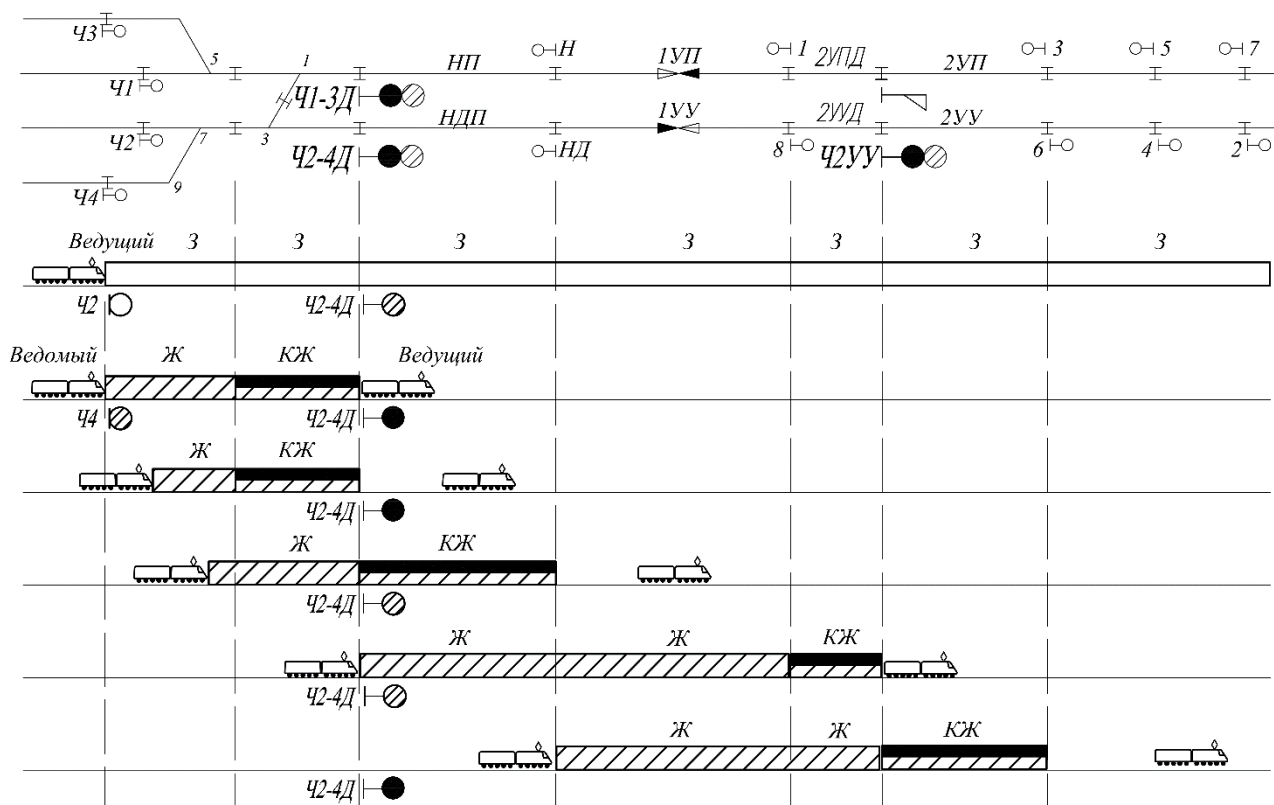


Рисунок 8 – Кодирование маршрута отправления ведомого поезда

Таким образом, при отпуске ведомого поезда, система автоведения начинает движение поезда при получении кода «Ж», с учетом подтверждения продолжающегося разгона ведущего поезда, а машинист контролирует выполнение разгона. Если при движении поездов происходит отказ устройств автоматики или систем виртуальной сцепки, разработанный алгоритм кодирования предоставит информацию машинисту о необходимости выполнения торможения. Если машинист не успевает среагировать на получение кода «КЖ», поезд будет остановлен локомотивными системами безопасности (БЛОК, САУТ).

Получена оценка потенциального прироста пропускной способности при повышении процента используемой силы тяги, использовании технических решений для обеспечения движения поездов в виртуальной сцепке с двухблочным разграничением, а также при одновременном использовании технических решений и повышении процента используемой силы тяги (рисунок 9). При расчетах минимальный интервал попутного отправления составлял 5 мин, данное ограничение связано с необходимостью поддержания межпоездного интервала большим чем интервал попутного прибытия.

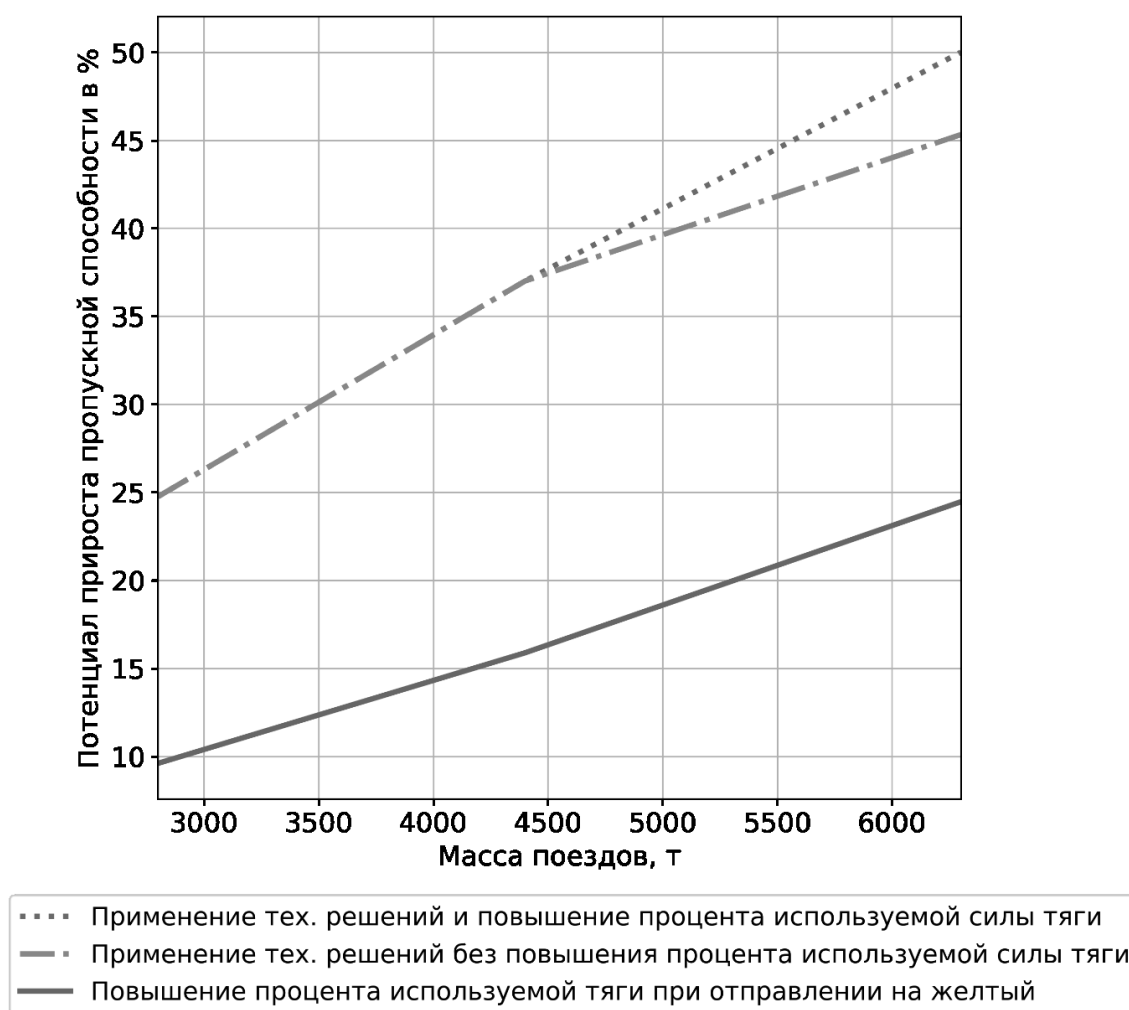


Рисунок 9 – Зависимость прироста пропускной способности при разных способах ее увеличения

Нелинейность прироста пропускной способности при увеличении массы (рисунок 9) связана с тем, что для относительно «легких поездов» 2800 т, применение технических решений позволяет без увеличения процента используемой силы тяги организовывать отправление с интервалами менее 5 мин. Это будет нарушать установленное ранее ограничение по минимальному интервалу попутного прибытия, поэтому из расчетов пропускной способности данные значения интервалов были исключены и заменены на интервал равный 5-ти минутам. Увеличение массы приводит к тому, что для обеспечения 5-ти минутного интервала необходимо (помимо применения технических решений) использовать резервы по увеличению процента используемой силы тяги. Для поездов массой 6300 т увеличение процента используемой силы тяги может обеспечить увеличение пропускной способности еще на 10%.

С точки зрения развития устройств железнодорожной автоматики и локомотивных систем, предельный прирост пропускной способности возможен при

увеличении процента используемой силы тяги на участке с реализованными техническими решениями по обеспечению движения поездов в виртуальной сцепке с двухблочным разграничением, и может достигать 23% для поездов массой 2800 т, 38% для 4400 т, 50% для 6300 т.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В данной диссертационной работе изложены новые научно-обоснованные технико-технологические решения в области совершенствования систем железнодорожной автоматики, направленные на повышение пропускной способности железных дорог.

В результате выполненных исследований по теме работы получены следующие научные и практические результаты:

1. Проанализированы способы повышения пропускной способности железных дорог, выделены перспективные направления, связанные с совершенствованием железнодорожной автоматики и телемеханики. Показано, что дальнейшее эффективное применение технологии виртуальной сцепки может увеличить пропускную способность при решении вопроса связанного с уменьшением межпоездного интервала при приеме и отправлении поездов.

2. Разработанная методика моделирования движения поездов на основе применения регрессионной модели позволяет выполнять построение кривых скоростей поезда с учетом массы поезда, уклона пути и процента используемой силы тяги.

3. По результатам моделирования движения поездов в виртуальной сцепке определены требования к станционным системам автоматики и технологии работы станции. Определены условия, при которых потребуется строительство разгонного пути. Расчеты показали, что при полном использовании силы тяги на плоском профиле, строительство 1800 м разгонного пути позволит реализовывать интервалы попутного отправления от 3 мин для поездов массой до 6300 т.

4. Разработаны технические решения микропроцессорной централизации МПЦ-МПК (ЦКЖТ.665211.010.Д9-ТР) для обеспечения отправления поездов в виртуальной сцепке с двухблочным разграничением. Выполнена оценка потенциального прироста пропускной способности при использовании технических решений и увеличении процента используемой силы тяги в зависимости от

массы поездов. С ростом массы поездов увеличивается прирост пропускной способности. Для поездов массой 6300 т возможно увеличение пропускной способности до 50%.

Перспективы дальнейших исследований – разработка методики экономической оценки организации движения поездов в виртуальной сцепке с заданным межпоездным интервалом на участке, оборудованном представленными техническими решениями.

### **Список работ, опубликованных по теме диссертации**

1. Бушуев, С.В. Повышение пропускной способности участка железной дороги с применением технологии виртуальной сцепки / С.В. Бушуев, К.В. Гундырев, Н.С. Голочалов // Автоматика на транспорте. – 2021. – Т. 7. – № 1. – С. 7-20.

2. Бушуев, С.В. Анализ загрузки путевого развития станции (по данным архивов систем централизаций стрелок и сигналов) / С.В. Бушуев, Б.В. Рожкин, А.А. Блюдов, Н.С. Голочалов // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2021. – № 2. – С. 30-44.

3. Бушуев, С.В. Анализ способов повышения пропускной способности железных дорог / С.В. Бушуев, Н.С. Голочалов // Транспорт Урала. – 2023. – №1 (76). – С. 42-51.

4. Бушуев, С.В. Технические решения повышения пропускной способности станции при использовании технологии виртуальной сцепки / С.В. Бушуев, Н.С. Голочалов // Транспорт Урала. – 2023. – №3 (78). – С.46-55.

5. Голочалов, Н.С. Виртуальная сцепка поездов для повышения пропускной способности железных дорог / Н.С. Голочалов // Молодёжь Сибири - науке России. Материалы международной научно-практической конференции. В 2-х томах. Красноярск, 2021. – С. 90-94.

6. Бушуев, С.В. Анализ загруженности станций по данным архивов систем централизаций / С.В. Бушуев, Н.С. Голочалов // Транспорт: проблемы, идеи, перспективы. LXXXI Всероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. – Санкт-Петербург, 2021. – С. 20-24.

7. Голочалов, Н.С. Определение длины разгонного пути / Н.С. Голочалов // Инновационный транспорт. – 2023. – №3 – С. 41-47.

### **Личный вклад автора**

Основные положения результатов проведенных исследований получены автором самостоятельно. Статьи [5, 7] подготовлены единолично. Личный вклад автора в опубликованных в соавторстве работах заключается в следующем: [1] – выполнен обзор публикаций посвященных технологии виртуальной сцепки поездов; [3] – проведен анализ публикаций посвященных вопросу повышения пропускной способности железных дорог; [2, 6] – подготовлены данные для статистического анализа загрузки секций пути в горловине станции; [4] – разработаны алгоритмы работы светофоров, методика расстановки светофоров.

**Голочалов Николай Сергеевич**

**ПОВЫШЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ  
ЗА СЧЕТ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ РАБОТЫ УСТРОЙСТВ  
АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ**

2.9.4 Управление процессами перевозок (технические науки)

Подписано в печать «19» октября 2023 г.

Формат 60x84/16

Тираж 100 экз.

Усл. печ. л. 1,4

Заказ № 811