

Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет транспорта»

Объект авторского права  
УДК 656.224

**ВАН ЮЙБЯНЬ**

**МОДЕЛЬ ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ СКОРОСТНЫХ  
И ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ПАССАЖИРСКИХ ПОЕЗДОВ**

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

по специальности  
05.22.08 – Управление процессами перевозок

Гомель, 2023

Научная работа выполнена в учреждении образования  
«Белорусский государственный университет транспорта»

Научный руководитель – **Ерофеев Александр Александрович**,  
кандидат технических наук, доцент, проректор  
по научной работе учреждения образования  
«Белорусский государственный университет  
транспорта»

Официальные оппоненты: **Пазойский Юрий Ошарович**,  
доктор технических наук, профессор, заведу-  
ющий кафедрой «Железнодорожные станции  
и транспортные узлы» федерального государ-  
ственного автономного образовательного  
учреждения высшего образования «Россий-  
ский университет транспорта»

**Власюк Татьяна Аркадьевна**,  
кандидат технических наук, доцент, декан  
факультета обучения иностранных граждан  
учреждения образования «Белорусский госу-  
дарственный университет транспорта»

Оппонирующая организация – Белорусский национальный технический  
университет

Защита состоится «23» января 2024 г. в 10.00 часов на заседании совета по  
защите диссертаций Д 08.01.01 при учреждении образования «Белорусский  
государственный университет транспорта» по адресу: 246653, г. Гомель,  
ул. Кирова, 34, ауд. 248, тел. (80232) 95-21-91, факс (80232) 20-22-35, e-mail:  
natalia.kekish@gmail.com.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке учре-  
ждения образования «Белорусский государственный университет транспорта».

Автореферат разослан «14» декабря 2023 г.

Ученый секретарь  
совета по защите диссертаций  
кандидат технических наук, доцент



Н.А. Кекиш

## ВВЕДЕНИЕ

Повышение скоростей движения поездов является ключевым направлением развития железнодорожного транспорта в мире. Вместе с тем оно является дорогостоящим и ресурсоемким транспортным проектом, эффективность реализации которого во многом зависит от выбранной модели организации движения скоростных и высокоскоростных пассажирских поездов (МОДСВП) и ее интеграции в транспортную систему государства и региона. В настоящее время в мире используются различные виды МОДСВП, которые обладают разными уровнями эффективности. Выбор МОДСВП связан с определением мощности и направления следования прогнозных пассажиропотоков, а также распределения пропускной способности объектов инфраструктуры при вводе в график движения поездов (ГДП) скоростных и высокоскоростных поездов. Однако существующие методы оценки потребной пропускной способности железнодорожных участков не позволяют в полной мере учитывать изменения приоритетов пассажиров при возникновении высокоскоростных перевозок на рынке транспортных услуг, а также региональные особенности транспортных систем. Требуется дополнение и теория определения пропускной способности железнодорожных участков в части определения коэффициентов съема пассажирских поездов при скоростях свыше 200 км/ч, а также при организации движения разнородных пассажирских поездов. Решению этих и ряда других научных проблем посвящено диссертационное исследование.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами.** Исследования по теме диссертации выполнялись в соответствии с Государственной программой развития транспортного комплекса Республики Беларусь на 2016–2020 годы (постановление Совета Министров Республики Беларусь от 28.04.2016 № 345), Государственной программой «Транспортный комплекс» на 2021–2025 годы (постановление Совета Министров Республики Беларусь от 23.03.2021 № 165), Стратегией инновационного развития транспортного комплекса Республики Беларусь до 2030 года (приказ Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь от 25.02.2015 № 57-Ц).

При непосредственном участии автора и с использованием положений диссертации выполнены следующие научно-исследовательские темы: «Анализ перспектив развития перевозок пассажиров вагонами локомотивной тяги» (№ Л/Ю-291/12976 от 08.04.2019); «Разработка методических рекомендаций по технико-эксплуатационной оценке пропускной способности железнодорожных узлов» (№ Д/Ю-407/13117 от 12.06.2019).

**Цель и задачи исследования.** Цель исследования – разработка МОДСВП, обеспечивающей эффективное использование пропускной способности железнодорожных участков и удовлетворение перспективного спроса населения на железнодорожные пассажирские перевозки.

Для ее достижения поставлены следующие задачи:

1) разработать метод определения потребной пропускной способности железнодорожных участков при организации скоростного и высокоскоростного движения пассажирских поездов на инфраструктуре железных дорог;

2) развить метод расчета пропускной способности железнодорожных участков для различных видов МОДСВП и установить аналитические зависимости коэффициентов съема поездов от условий их пропуска;

3) разработать методику расчета потребного расстояния между станциями обгона поездов при организации смешанного высокоскоростного, скоростного, пассажирского и грузового движения на железнодорожной линии;

4) разработать методики оценки маршрутных скоростей движения поездов и изменения наличной пропускной способности железнодорожных участков в зависимости от параметров МОДСВП.

**Научная новизна** заключается:

1) в разработке нового метода определения потребной пропускной способности железнодорожных участков при организации скоростного и высокоскоростного движения пассажирских поездов, который за счет комбинированного использования Logit- и GM-моделей позволяет устанавливать прогнозные размеры движения пассажирских поездов с учетом параметров взаимодействующих видов транспорта, в зависимости от реализуемых скоростей движения поездов и в условиях ограниченной величины статистических данных;

2) развитию метода расчета пропускной способности железнодорожных участков в части определения аналитических зависимостей коэффициентов основного и дополнительного съема поездов при скоростях движения как до 200 км/ч, так и свыше 200 км/ч и в зависимости от реализуемых схем прокладки поездов в графике движения поездов (ГДП);

3) разработке методики расчета потребного расстояния между станциями обгона поездов при организации смешанного высокоскоростного, скоростного, пассажирского и грузового движения на железнодорожной линии, использование которой позволяет учитывать реализуемые скорости, соотношения размеров движения поездов различных категорий и устанавливать эффективные параметры МОДСВП;

4) разработке методик оценки маршрутных скоростей движения поездов и изменения наличной пропускной способности железнодорожных участков, использование которых позволяет при обосновании параметров МОДСВП определять эффективные сочетания ходовых скоростей движения, режимов стоянок и порядок прокладки ниток поездов различных категорий в ГДП.

**Положения, выносимые на защиту**

1) метод определения потребной пропускной способности железнодорожных участков при организации скоростного и высокоскоростного движения пассажирских поездов, который за счет комбинированного использования Logit- и GM-моделей позволяет устанавливать прогнозные размеры движения

поездов в зависимости от параметров взаимодействующих видов транспорта и в условиях ограниченной величины статистических данных.

2) аналитические зависимости коэффициентов основного и дополнительного съема поездов при скоростях движения как до 200 км/ч, так и свыше 200 км/ч и в зависимости от реализуемых параметров МОДСВП, которые дополняют существующую теорию расчета пропускной способности железнодорожных участков.

3) новая методика расчета потребного расстояния между станциями обгона поездов при организации смешанного высокоскоростного, скоростного, пассажирского и грузового движения в зависимости от реализуемых скоростей и соотношения размеров движения поездов различных категорий.

4) методика параметрической оценки варианта МОДСВП, включающая аналитические расчеты маршрутных скоростей движения поездов и наличной пропускной способности железнодорожных участков.

#### **Личный вклад соискателя ученой степени**

Автором диссертации совместно с руководителем определена цель и выполнена постановка задач исследования. Автором лично решены поставленные в диссертационном исследовании задачи, проведена апробация разработанных методик, выполнен анализ полученных статистических данных. Соавторам публикаций принадлежат результаты, не вошедшие в рассматриваемую работу.

**Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов.** Научные результаты диссертации отражены в опубликованных печатных работах соискателя, докладывались и обсуждались на научных мероприятиях: открытых научных семинарах кафедры «Управление эксплуатационной работой и охрана труда» учреждения образования «Белорусский государственный университет транспорта»; конференциях: Проблемы безопасности на транспорте (г. Гомель, 2019, 2020, 2021 гг.); Тихомировские чтения: Инновационные технологии перевозочного процесса (г. Гомель, 2020 г.); Академик В. Н. Образцов – основоположник транспортной науки (г. Москва, 2021 г.), Importance of Soft Skills for Life and Scientific Success: Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Internet Conference, (Dnipro, Ukraine, 2022 г.); Наука в современном информационном обществе (North Charleston, USA, 2022 г.); Транспорт, логистика, строительство, эксплуатация, управление (г. Екатеринбург, 2022 г.).

Результаты исследований использованы в научно-исследовательской лаборатории «Управление перевозочным процессом», в учебном процессе учреждения образования «Белорусский государственный университет транспорта», применяются в подразделениях государственного объединения «Белорусская железная дорога».

**Опубликование результатов диссертации.** Основные результаты диссертации опубликованы в 12 научных работах, в том числе 5 статей в рецензируемых

научных изданиях по перечню ВАК, 7 тезисов докладов и материалов конференций. Общий объем публикаций составляет 4,7 авторского листа.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, библиографического списка, приложения. Объем диссертации составляет 153 страницы из них: 99 страниц – основной текст; 42 страницы – таблицы и рисунки; 7 страниц – библиографический список (61 наименование, в том числе 12 авторских публикаций); 5 страниц – приложения.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

**Во введении и общей характеристике работы** обосновывается выбор темы исследования и её актуальность; определены цель и задачи исследования, его научная новизна; сформулированы основные положения, выносимые на защиту; представлены сведения об апробации и опубликовании результатов исследования, а также о структуре и объёме диссертации.

**В первой главе** определена актуальность проблематики развития скоростного и высокоскоростного движения поездов, выполнен анализ системы железнодорожных пассажирских перевозок в Республике Беларусь, видов МОДСВП на железных дорогах мира, методов прогнозирования пассажиропотоков и методов расчета пропускной способности железнодорожных участков.

Вариант организации движения скоростных и высокоскоростных поездов с учетом их взаимосвязи с системой организации движения поездов других категорий именуется в дальнейшем моделью организации движения скоростных и высокоскоростных поездов (МОДСВП). Установлено, что различные железные дороги мира имеют свои модельные характеристики, которые сводятся к трем видам: выделенное высокоскоростное движение, комбинированное пассажирское скоростное и высокоскоростное движение, смешанное движение. Предложено рассматривать МОДСВП в зависимости от реализуемых ходовых скоростей движения поездов: до 200 км/ч – скоростное, свыше 200 км/ч – высокоскоростное движение. Разработана система классификации МОДСВП.

В результате анализа зарубежного опыта и отечественной системы организации пассажирских перевозок предложено для условий Республики Беларусь рассматривать МОДСВП с организацией смешанного движения высокоскоростных, скоростных, других категорий пассажирских и грузовых поездов на двухпутных линиях. Варьируемыми параметрами МОДСВП являются ходовые скорости движения поездов различных категорий, режимы стоянок поездов, долевое распределение и взаимное расположение поездов различных категорий в ГДП.

Основой для выбора параметров МОДСВП является прогнозирование пассажиропотоков и определение потребной пропускной способности железнодорожного направления. Развитие методов прогнозирования рассмотрено в трудах многих ученых: Х. Джао, Д. Ли, С. Ванг, Н. Нгуен, В. Махмод, К. Ватанабе,

Б. Биндху, Г. Мадху и других. Установлено, что для прогнозирования пассажиропотоков целесообразно применять GM-модели. Вопросы расчета наличной и потребной пропускной способности исследованы рядом ученых, среди них: С Алджарад, Д. Хеншер, А. Афандизабег, А. Монзон, С. р. Дженг, Чэн Ваньбин, Хао Дань, Пэн Цюань, Янь Хайфэн, Луо Цзянь, Н. В. Правдин, В. Я., Негрей, С. П. Вакуленко, Ю. О. Пазойский, В. А. Персианов, Ф. П. Кочнев, Л. С. Князева, Б. Д. Никофоров и другие. Несмотря на многочисленные исследования, остается важной проблематика оценки влияния скоростей движения поездов на величину суммарного пассажиропотока в транспортном коридоре и на каждом виде транспорта. Установлено, что для этой цели эффективно использовать Logit-модели.

На наличную пропускную способность помимо традиционных параметров системы эксплуатации поездов (скорость движения, тип ГДП и др.) значительное влияние оказывают режимы стоянок поездов, схемы размещения поездов различных категорий в ГДП, размещение обгонных станций на направлении и др. При этом аналитические зависимости коэффициентов съема поездов от указанных факторов не установлены. Остается недостаточно изученным вопрос определения коэффициентов съема при смешанном движении скоростных и высокоскоростных поездов, а также при их взаимосвязи с грузовым движением.

**Во второй главе** рассматриваются вопросы прогнозирования потребной пропускной способности железнодорожной линии при организации скоростного и высокоскоростного движения. Предложен *метод определения потребной пропускной способности*, который включает следующие итерации:

- формирование Logit-модели выбора вида транспорта в транспортных коридорах при повышении скоростей движения поездов;
- формирование GM-модели определения тренда изменения пассажиропотока;
- расчет прогнозных значений мощности пассажиропотоков с учетом перераспределенного и индуцированного спроса;
- расчет потребных размеров движения высокоскоростных поездов.

Выполнен анализ значимости факторов на величину прогнозного пассажиропотока на железнодорожном транспорте и установлено, что скорость движения поездов оказывает непосредственное влияние на изменение пассажиропотока и является параметром, характеризующим конкурентоспособность железнодорожного транспорта по сравнению с другими видами.

Выражение базовой модели прогнозирования пассажиропотока имеет вид:

$$Q_{\text{перев}} = Q_{oij}(f_{\text{после}} - f_{\text{до}}), \quad (1)$$

где  $Q_{\text{перев}}$  – объем перевезенных пассажиров после увеличения скорости поездов на существующей линии, млн. пасс в год;  $Q_{oij}$  – величина пассажиропотока до увеличения скорости движения поездов, млн. пасс в год;  $f_{\text{после}}, f_{\text{до}}$  – доли пассажиропотока железнодорожного транспорта к общему

пассажиропотоку в транспортном коридоре соответственно после и до увеличения скорости движения поездов.

При сравнении видов транспорта предложено определять «транспортную цену» на основании наиболее значимых параметров:

$$R = \sum_{i=1}^5 r_i, \quad (2)$$

где  $r_i$  – значение пяти атрибутов вида транспорта: скорости, экономичности, безопасности, комфорта, удобства ГДП.

Рассматриваемые разноразмерные параметры при принятии многоцелевых решений нормализуются.

Построена Logit-модель выбора вида транспорта в транспортном коридоре на примере трех видов: железнодорожного ( $S_i$ ), автомобильного ( $S_a$ ), воздушного ( $S_j$ ). Вероятность выбора железнодорожного транспорта

$$P(i) = P(S_i \geq S_a \geq S_j). \quad (3)$$

Тогда вероятность выбора железнодорожного транспорта с учетом перераспределения пассажиропотока между видами транспорта  $P(i)$  может быть выражена как:

$$P(i) = \exp(S_i) / [\exp(S_i) + \exp(S_a) + \exp(S_j)], \quad (4)$$

где  $S_i, S_a, S_j$  – оценочные функции железнодорожного, автомобильного и воздушного транспорта соответственно после изменения значимых параметров.

Увеличение и улучшение качества транспортных услуг будет формировать индуцированный пассажиропоток, который может быть определен как

$$Q_{\text{инд}} = Q' - Q = \frac{R}{R'} Q - Q = \frac{R - R'}{R'} Q, \quad (5)$$

где  $Q'$  – изменение пассажиропотока, пас./год;  $Q$  – объем пассажиропотока при соответствующем уровне обслуживания, пас./год;  $R$  – соответствующая «транспортная цена» до повышения скорости;  $R'$  – стоимость перевозки после повышения скорости.

Значения долей перераспределенного и индуцированного пассажиропотоков получены на примере линии Пекин – Циньхуандао. Согласно выполненным расчетам прогнозный годовой пассажиропоток без увеличения скорости составил 9,8 млн человек, а при повышении скорости – 11,1 млн человек, в то время как фактический пассажиропоток при повышении скорости составил 11,2 млн человек. Относительная ошибка составила 0,8 %, что указывает на возможность использования Logit-модели для прогнозирования пассажиропотоков в условиях повышения скоростей движения поездов.

Величину изменения пассажиропотока предложено рассчитывать с использованием GM-модели. Установлено, что наиболее подходящей для описания пассажирской системы является модель дифференциального уравнения с одной переменной первого порядка GM (1,1). Ее создание включает следующие шаги:



**Шаг 1.** Предварительная обработка исходных данных и формирование статистического ряда:

$$x^{(0)} = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), x^{(0)}(3) \dots x^{(0)}(n)\}. \quad (6)$$

Выполняется расчет параметров статистического ряда и проверка его гладкости:

$$\beta(k) = \frac{x^{(0)}(k-1)}{x^{(0)}(k)}, \quad k = 3, 4 \dots n. \quad (7)$$

Если все коэффициенты сходимости находятся в диапазоне  $(e^{-2/n+1}, e^{2/n+1})$ , исходные данные позволяют установить модель GM (1,1).

После предварительной обработки исходные данные накапливаются и генерируются для получения новой последовательности данных:

$$x^{(1)} = \{x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), x^{(1)}(3) \dots x^{(1)}(n)\}. \quad (8)$$

Выполняется проверка, подчиняется ли последовательность  $x^{(1)}$  квази-экспоненциальному закону:

$$\sigma^{(1)}(k) = \frac{x^{(1)}(k)}{x^{(1)}(k-1)}, \quad k = 3, 4 \dots n. \quad (9)$$

Если существует  $\sigma^{(1)}(k) \in [1, 1 + \delta]$ , где  $\delta$  равно 0,5, то последовательность  $x^{(1)}$  удовлетворяет закону экспоненциального роста, в противном случае она продолжает накапливаться.

**Шаг 2.** Составление дифференциального уравнения. Так как последовательность  $x^{(1)}$  удовлетворяет условиям линейного дифференциального уравнения первого порядка

$$\frac{dx^{(1)}}{dx} + a x^{(1)} = u, \quad (10)$$

где  $a$  – коэффициент регрессии, отражающий тенденцию изменения исходных данных  $x^{(0)}$  и новую последовательность данных  $x^{(1)}$ ;  $u$  – коэффициент согласованности, отражающий взаимосвязь между данными.

**Шаг 3.** Расчет параметров  $a$ ,  $u$  и построение дифференциального уравнения. Дифференциальное уравнение модели GM (1,1) будет иметь вид

$$x^{(0)}(k) = -aZ^{(1)}(k) + u, \quad (11)$$

где  $Z^{(1)}$  – сгенерированная последовательность, непосредственно смежная с последовательностью  $x^{(1)}$ :

$$Z^{(1)}(k) = 0,5[x^{(1)}(k) + x^{(1)}(k-1)], \quad (k = 2, 3 \dots n). \quad (12)$$

В результате получаем матрицу следующего вида:

$$\begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \dots \\ \dots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -Z^{(1)}(2) & 1 \\ -Z^{(1)}(3) & 1 \\ \dots & \dots \\ \dots & \dots \\ -Z^{(1)}_n & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a \\ u \end{bmatrix}, \quad (13)$$

$$Y_n = [x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), \dots, x^{(0)}(n)]^T, \quad (14)$$

$$B = \begin{bmatrix} -Z^{(1)}(2) & 1 \\ -Z^{(1)}(3) & 1 \\ \dots & \dots \\ \dots & \dots \\ -Z^{(1)}_n & 1 \end{bmatrix}, \quad (15)$$

$$\hat{a} = \begin{bmatrix} a \\ u \end{bmatrix}. \quad (16)$$

**Шаг 4.** Формирование модели прогнозирования.

Подставляя полученные параметры  $a$  и  $u$  в уравнение (13), получаем

$$\tilde{x}^{(0)}(t) = \left[ \hat{x}^{(1)} - \frac{u}{a} \right] e^{-at} + \frac{u}{a}, \quad (k = 1, 2, 3 \dots n). \quad (17)$$

После сокращения вспомогательных значений и восстановления исходного состояния выборки, модель прогнозирования  $x^{(0)}$  выглядит как

$$\tilde{x}^{(0)}(k+1) = x^{(1)}(k+1) - x^{(1)}(k) = (e^{-a} - 1) \left[ x^{(0)}(1) - \frac{u}{a} \right] e^{-ak}. \quad (18)$$

С целью повышения точности результатов прогнозирования предложено использование **улучшенной модели GM (1,1)**. Ее создание предполагает, что параметры  $a$ ,  $u$  традиционной модели могут использоваться для представления параметров  $\eta$ ,  $M$ , где

$$a' = \ln \frac{2-a}{2+a}, \quad M' = \frac{2u}{2+a}. \quad (19)$$

Тогда  $a' = \eta$ ,  $M' = M$ . При построении улучшенной модели GM (1,1) шаги с 1-го по 3-й относятся к таким шагам традиционной модели.

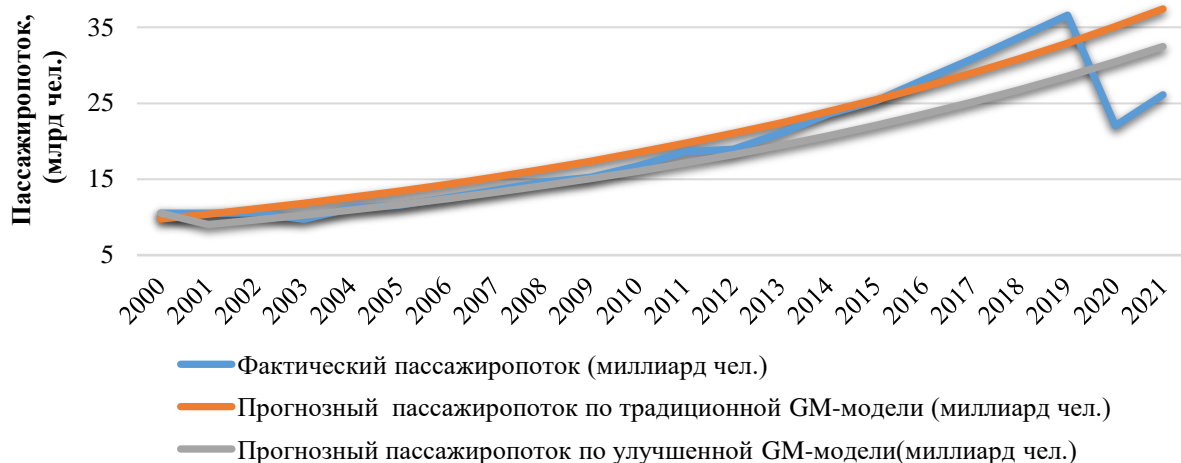
Определение параметров улучшенной модели GM (1,1) выполняется по формуле (19).

**Шаг 5.** Создание исходной модели последовательности данных:

$$\hat{x}^{(0)}(1) = x^{(0)}(1), \quad (20)$$

$$\hat{x}^{(0)}(k) = M' e^{a'(k-1)}, \quad k = 2, 3, \dots n. \quad (21)$$

Сравнение прогнозных значений по традиционной и улучшенной моделям GM (1,1) выполнено на основании данных пассажиропотоков на высокоскоростных железных дорогах (ВСМ) Китая в период 2000–2021 гг. При прогнозировании период с 2000 по 2019 г. принимался как ретроспективный, а данные за 2020 и 2021 годы использовались для оценки точности модели (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Сравнение прогнозных значений пассажиропотоков по традиционной и улучшенной моделям GM (1,1) с исходными годовыми данными на ВСМ Китая за 2000–2021 гг.**

Сравнительный анализ результатов показывает, что средняя ошибка улучшенной GM (1,1) модели по сравнению с традиционной уменьшилась с 9,6 % до 4,1 %. Разработан прогноз пассажиропотока для направления Минск – Москва. Установлено, что рост пассажиропотока в транспортном коридоре Минск – Москва к 2025 году составит 10–15 % при отсутствии существенных неформализованных факторов.

На основе Logit- и улучшенной GM-моделей определен прогнозный пассажиропоток с учетом *перераспределенного и индуцированного спроса* (таблица 1).

Таблица 1 – Прогнозный пассажиропоток железнодорожным транспортом на 2024–2025 гг.

Год	Улучшенная GM-модель	Пассажиров в год			
		Общий прогнозируемый прирост пассажиропотока после увеличения скорости			
		150 км/ч	170 км/ч	190 км/ч	240 км/ч
2024	1415778,87	48995,98	84314,86	82787,11	91431,45
2025	1438849,59	49794,39	85688,80	84136,16	92921,37

Таким образом, пассажиропоток увеличивается по мере роста скорости, причем наибольшее увеличение пассажиропотока происходит при маршрутной скорости 240 км/ч. Рассчитано, что при организации скоростного и высокоскоростного движения потребуется дополнительно от 2 до 6 ниток ГДП в зависимости от используемого подвижного состава.

**В третьей главе рассмотрены вопросы *расчета наличной пропускной способности железнодорожного участка при организации смешанного движения высокоскоростных, скоростных и других категорий поездов***. Для расчетов предложено использовать аналитические методы, в основе которых лежит определение коэффициентов съема поездов.

Введено понятие периода влияния пассажирского поезда  $T_{вл}$ , которым будем считать период ГДП между нитками грузовых поездов, не пересекающимися с пассажирским (рисунок 2).

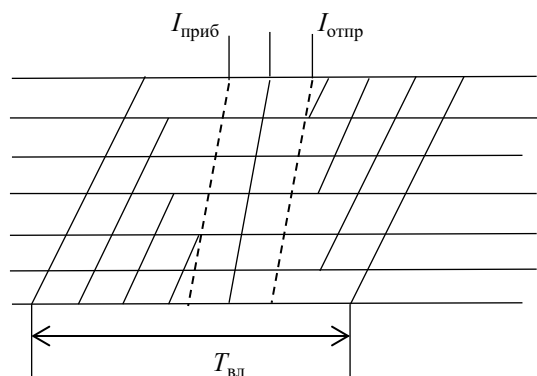


Рисунок 2 – Период влияния пассажирского поезда

Продолжительность периода

$$T_{\text{вл}} = (n_{\text{обгон}} + 1) I + I_{\text{приб}} + I_{\text{отпр}} + t_p + t_3 + \delta T, \quad (22)$$

где  $n_{\text{обгон}}$  – количество грузовых поездов в течении периода влияния пассажирского поезда,

$$n_{\text{обгон}} = \left[ \frac{\sum \Delta t_i}{I} = \frac{\sum (t_{\text{гр.}i} - t_{\text{пасс.}i})}{I} \right], \quad (23)$$

$\Delta t_i$  – разница во времени следования грузовых и пассажирских поездов, мин;  $I$  – значение межпоездного интервала, мин;  $t_{\text{гр.}i}$  – время следования грузового поезда между зонными станциями участка  $i$ , мин;  $t_{\text{пасс.}i}$  – время следования пассажирского поезда между зонными станциями участка  $i$ , мин;  $[\ ]$  – символ округления в меньшую сторону;  $I_{\text{приб}}$ ,  $I_{\text{отпр}}$  – интервалы одновременного прибытия и попутного отправления поездов, мин;  $t_p$ ,  $t_3$  – дополнительные затраты времени на разгоны и замедления грузовых поездов на обгонных станциях, мин;  $\delta T$  – затраты времени на остановку грузового поезда для пропуска пассажирского и его отправление, мин,  $\delta T = \delta t_{\text{слева}i} + \delta t_{\text{справа}i}$ , где  $\delta t_{\text{слева}i}$ ,  $\delta t_{\text{справа}i}$  – смещение между воображаемыми нитками грузовых поездов по обе стороны от пассажирского на станции обгона, мин.

Величина  $\delta T$  обусловлена разницей во времени хода пассажирских и грузовых поездов  $\Delta t_i$ , проходящих по участку  $i$ . Значение  $\delta T$  определяется для каждой станции обгона. Анализ параметров, влияющих на основной коэффициент съёма при организации скоростного и высокоскоростного движения, позволил установить, что основной коэффициент съёма  $\epsilon_{\text{осн}}$  имеет тенденцию к уменьшению при увеличении скорости движения поездов при неизменной длине блок-участка, а увеличение длин блок-участков приводят к пропорциональному увеличению  $\epsilon_{\text{осн}}$ .

В исследовании факторов, влияющих на  $\delta T$ , установлено, что дополнительный коэффициент съёма  $\epsilon_{\text{доп}}$  напрямую зависит от  $\delta T$  и обусловлен разницей во времени хода поездов  $\Delta t_i$ , неравномерностью распределения их в ГДП и неидентичностью перегонов. Получены значения  $\epsilon_{\text{доп}}$  для различных сочетаний скоростей движения поездов, значений межпоездных интервалов. Впервые

определены зависимости значений  $\varepsilon_{\text{доп}}$  от расстояния между станциями обгона (рисунок 3). На их основании можно сделать вывод, что в диапазоне изменения скоростей пассажирского поезда от 100 до 250 км/ч и значениях межпоездного интервала  $I$  – 12, 10 и 8 мин, значения  $\varepsilon_{\text{доп}}$  составляет от 0,1 до 0,7 соответственно. Если расстояние между станциями обгона увеличивается с 15 до 60 км, значения  $\varepsilon_{\text{доп}}$  составляют от 0,3 до 3,4.

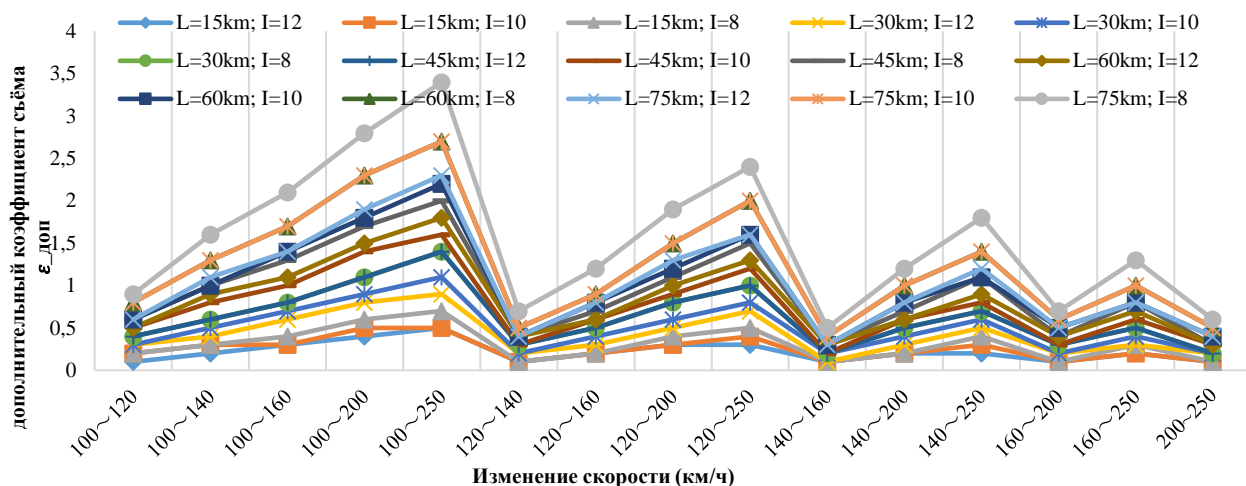


Рисунок 3 – Значения дополнительного коэффициента съема  $\varepsilon_{\text{доп}}$  при различных скоростях движения поездов, длинах блок-участков и расстояниях между станциями обгона

Выполнен анализ изменения коэффициента съема при остановке пассажирского поезда и при групповом пропуске пассажирских поездов. Сформулированы практические рекомендации по снижению коэффициентов съема поездов при разработке МОДСВП.

Предложена *методика расчета потребного расстояния между станциями обгона поездов при организации смешанного высокоскоростного, скоростного, пассажирского и грузового движения.*

При организации движения скоростных и высокоскоростных поездов и разграничении поездов попутного следования четырьмя блок-участками минимальное расстояние между станциями обгона  $L_{\text{min}}$ :

$$L_{\text{min}} = L_{\text{ВЫХ}} + 4L_{\text{б-у}} + L_3 + L_{\text{ВХ}}, \quad (24)$$

где  $L_{\text{ВЫХ}}$  – расстояние от выходного светофора до оси станции, принимается равным 1200 м;  $L_{\text{б-у}}$  – длина блок-участка, 2000 м;  $L_3$  – расстояние от проходного светофора до входного светофора станции, 2000 м;  $L_{\text{ВХ}}$  – расстояние от входного светофора до оси станции, 1800 м.

Тогда минимально допустимое расстояние между станциями при организации скоростного и высокоскоростного движения  $L_{\text{min}}=13000$  м.

Рациональная организация смешанного движения на железнодорожной линии позволяет увеличить данное расстояние и сократить издержки на развитие и содержание объектов инфраструктуры. Для оценки потребного расстояния в зависимости от схем организации смешанного движения поезда разделены на три категории: высокоскоростные и скоростные пассажирские поезда (экспресс-

поезда) – тип *A*, пассажирские поезда – тип *B* и грузовые – тип *C*. Тогда возможные схемы обгонов будут иметь вид, представленный на рисунке 4.

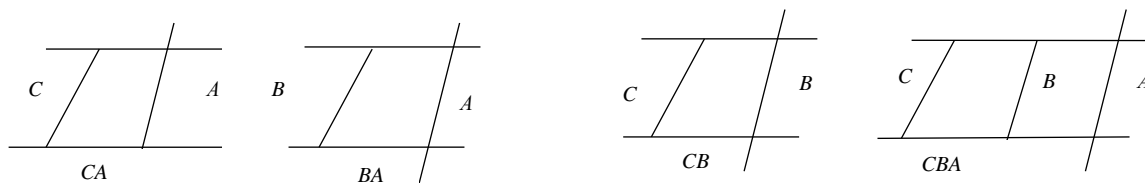


Рисунок 4 – Схемы обгона поездов

Для каждой из схем установлены формулы расчета продолжительности периодов ГДП, количества обгонов поездов, а также совмещения обгонов поездов различных категорий.

Например, для схемы *BA* продолжительность периода

$$T_{BA} = T_B - T_A + t_M + t_N, \quad (25)$$

где  $T_B$  – время следования пассажирского поезда по участку, мин;  $T_A$  – время следования экспресс-поезда по участку, мин;  $t_M, t_N$  – минимальный интервал, соответственно прибытия и отправления поездов попутного направления, мин.

Согласно приведенному выше анализу, количество пассажирских поездов, обгоняющих грузовые поезда  $K_{CY}$ , составляет:

$$K_{CY} = \left[ \frac{T_{CB}}{I_B} \right] + \left[ \frac{T_{CA}}{I_A} \right] = \left[ \frac{T_{CB}n_B}{1440} \right] + \left[ \frac{T_{CA}n_A}{1440} \right], \quad (26)$$

где  $n_A$  – количество ниток экспресс-поездов в ГДП;  $n_B$  – количество ниток пассажирских поездов в ГДП.

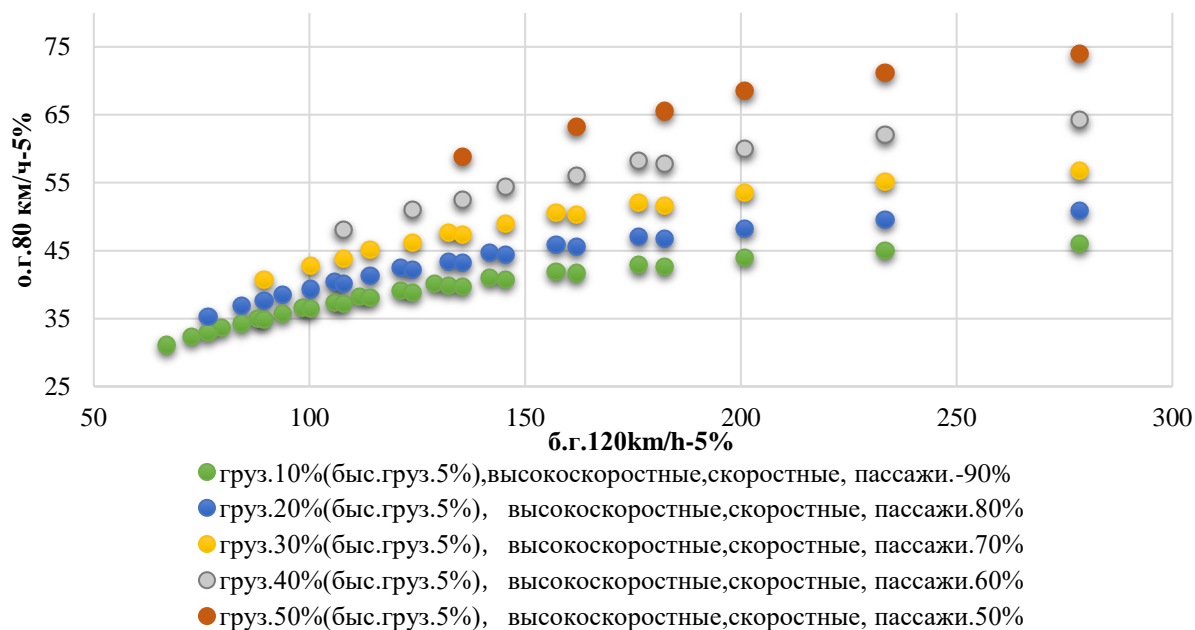
Тогда потребное расстояние между станциями обгона

$$L_{\text{станц}} = \frac{L}{K+1}, \quad (27)$$

где  $L$  – длина участка, км;  $K$  – количество обгоняющих поездов.

На примере направления Минск – Москва рассчитаны потребные расстояния между станциями обгона при различных вариантах расположения в ГДП различных категорий поездов (рисунок 5).

Установлено, что с увеличением количества пассажирских поездов в ГДП, расстояние между станциями обгона увеличивается и для смешанных пассажирских и грузовых перевозок со скоростью 250 км/ч должно составлять около 35 км. С увеличением доли грузовых поездов потребное расстояние между станциями обгона увеличивается примерно на 5–10 км. Для скоростных и пассажирских поездов целесообразно совмещать остановки для обгона поездов со стоянками для посадки и высадки пассажиров. С учетом повышения адаптивности ГДП к реальным условиям пропуска поездов, расстояние между станциями обгона должно составлять около 25–30 км.



**Рисунок 5 – Потребное расстояние между станциями обгона при различных пропорциях количества пассажирских и грузовых поездов**

Выполнен *анализ факторов, влияющих на пропускную способность железнодорожной линии при организации скоростного и высокоскоростного движения*. В качестве объекта исследования рассмотрены две категории поездов: высокоскоростные, следующие с ходовыми скоростями 250 и 200 км/ч (далее – категория *A*) и скоростные – 180, 160, 140 и 120 км/ч (далее категория *B*).

Коэффициенты ходовых скоростей *A, B* определяются по формуле

$$\beta_A = \frac{T_A}{T_A + k_A(T_{\text{ост}} + \Delta t)}, \quad \beta_B = \frac{T_B}{T_B + k_B(T_{\text{ост}} + \Delta t)}, \quad (28)$$

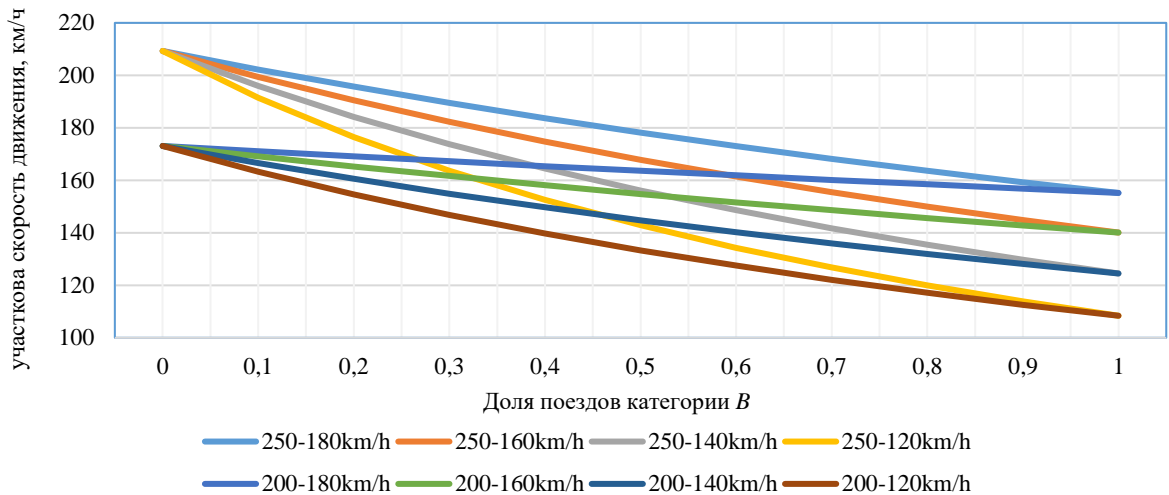
где  $T_{\text{ост}} + \Delta t$  – продолжительность остановки поезда, включая затраты времени на посадку-высадку пассажиров, дополнительные затраты времени на разгоны и замедления, мин;  $k_A, k_B$  – количество остановок на участке для поездов соответственно категорий *A* и *B*.

Тогда средняя участковая скорость может быть определена по формуле:

$$\bar{V} = \frac{L}{(1 - a_B)(T_A + k_A(T_{\text{ост}} + \Delta t)) + a_B(T_B + k_B(T_{\text{ост}} + \Delta t))}, \quad (29)$$

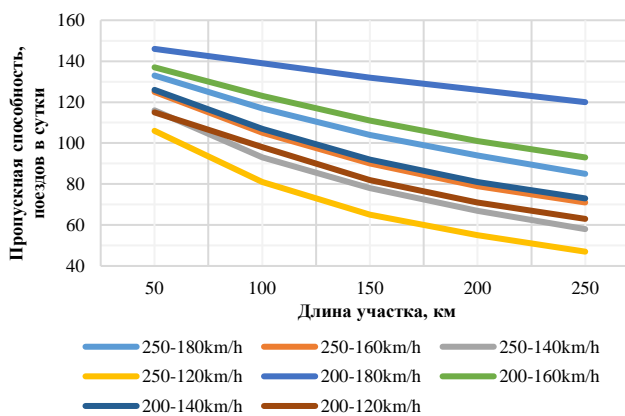
где  $a_B$  – доля поездов категории *B*.

Выполнена оценка влияния доли поездов категории *B* на участковую скорость. Как следует из рисунка 6, на среднюю участковую скорость движения влияет как ходовая скорость поездов категорий *A* и *B*, так и соотношение количества таких поездов в ГДП. При этом МОДСВП с ходовыми скоростями 200/160 км/ч и 200/140 км/ч имеет более высокие значения маршрутной скорости движения, чем 250/120 км/ч. Таким образом, при постановке задачи повышения скоростей движения пассажирских поездов рекомендуется одновременно решать задачи повышения скорости поездов не только категории *A*, но и категории *B*.

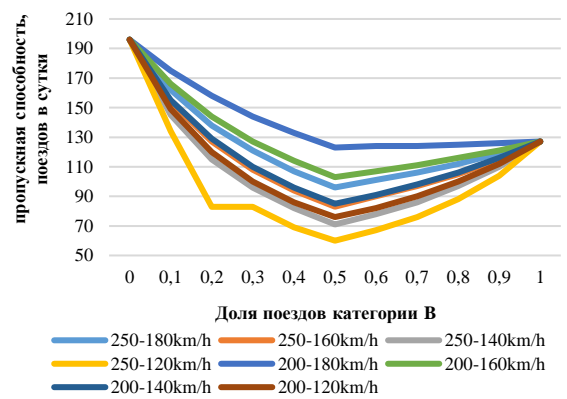


**Рисунок 6 – Зависимость средней участковой скорости от доли поездов категории В и значений ходовых скоростей**

Выполнен анализ и установлены аналитические зависимости влияния на пропускную способность разницы скоростей движения поездов разных категорий, доли поездов (рисунки 7, 8).



**Рисунок 7 – Зависимости пропускной способности от длины железнодорожного участка и сочетаний скоростей движения поездов**



**Рисунок 8 – Зависимости пропускной способности железнодорожного участка от доли поездов категории В**

Рассчитано, что чем больше длина участка, который поезда проследуют без остановок, тем меньше пропускная способность (при условии построения безобгонного ГДП). Для любой МОДСВП, по мере увеличения доли поездов категории В, пропускная способность участка уменьшается, достигая минимума при доле поездов категории В, равной 50 %. Подобные зависимости характерны для участков любой длины. Для исследуемой МОДСВП пропускная способность участка становится меньше по мере увеличения количества остановок поездов категории А. Полученные закономерности могут быть использованы на стадии формирования предпроектных решений при организации скоростного и высокоскоростного движения.

**В четвертой главе** выполнены исследования технологических аспектов реализации МОДСВП. При этом основными технологическими задачами являются выбор схем пропуска и режима остановок пассажирских поездов



различных категорий. Установлено, что в ГДП на маршрутную скорость движения поездов влияют два технологических фактора: количество остановок под обгон более приоритетными категориями поездов и продолжительность стоянки при каждом обгоне. Обозначим  $n_{\text{пак}}^i$  количество скоростных поездов, которые проследуют станцию во время стоянки пассажирского поезда. Тогда продолжительность дополнительного времени стоянки

$$\Delta t_i = (n_{\text{пак}}^i - 1) I + I_{\text{приб}} + I_{\text{отпр}} + |t_x - t_A| - t_{\text{ост}}. \quad (30)$$

Пусть на всем участке имеется в общей сложности  $s$  станций, исключая начальную и конечную, а число пересечений поездом станции обгона на участке равно  $p$ . Тогда увеличение маршрутного времени хода поезда по станциям обгона

$$\Delta t = \sum_{i=1}^p n_{\text{пак}}^i \cdot I + p \cdot (I_{\text{приб}} + I_{\text{отпр}} + |t_x - t_A| - t_{\text{ост}} - I) \\ [1 \leq p \leq \min(s, a_{\text{соед}}), \text{ при } p = 0, \Delta t = 0; p \leq \sum_{i=1}^p n_{\text{пак}}^i \leq n_{\text{скор}}]. \quad (31)$$

Из уравнения (31), в сочетании с формулой расчета маршрутной скорости, выразим влияние пропуска скоростных поездов на маршрутную скорость пассажирских поездов, следующих с остановками:

$$\Delta v = \frac{S}{T_B} - \frac{S}{T_B + \Delta t}. \quad (32)$$

На основании предложенной методики выполнен расчет снижения маршрутной скорости движения пассажирских поездов (ходовая скорость 140 км/ч) при организации скоростного движения (скорость 200 км/ч) (таблица 2).

Таблица 2 – Анализ снижения маршрутной скорости движения пассажирских поездов в зависимости от частоты движения скоростных экспресс-поездов

Количество экспресс-поездов, пар/ч	С обгонами		Без обгонов		Снижение скорости обгоняемых поездов, %
	Продолжительность стоянок поезда, мин	Маршрутная скорость, км/ч	Продолжительность стоянок поезда, мин	Маршрутная скорость, км/ч	
3	67	90	59	101,7	11,75
4	79	76	59	101,7	25,18
5	91	66	59	101,7	35,06

Рассчитано, что чем плотнее распределены станции, тем очевиднее эффект организации скоростных поездов по сравнению с поездами, имеющими более частый режим остановок. В случае полного использования пропускной способности, при назначении от трех до пяти скоростных поездов в час, маршрутная скорость пассажирских снижается от 11,75 до 35,06 %.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные научные результаты диссертации

1 Разработан метод определения потребной пропускной способности железнодорожных участков при организации скоростного и высокоскоростного

движения пассажирских поездов, который включает построение Logit- и GM-моделей, позволяющий учитывать влияние скоростей движения поездов на прогнозный пассажиропоток и обеспечивающий погрешность прогнозных значений не более 5 % [2, 9–12].

2 Внесены уточнения в метод расчета пропускной способности железнодорожных участков при организации смешанного движения высокоскоростных, скоростных и других категорий поездов в части расчета значений дополнительных коэффициентов съема. Установлено, что в диапазоне изменения скоростей поездов от 100 до 250 км/ч и значениях межпоездного интервала  $I$  – 12, 10 и 8 мин, значения  $\epsilon_{\text{доп}}$  составляют от 0,1 до 0,7 соответственно. Если расстояние между станциями обгона увеличивается с 15 до 60 км, значения  $\epsilon_{\text{доп}}$  составляют от 0,3 до 3,4 соответственно [4–6, 8].

3 Разработана методика расчета потребного расстояния между станциями обгона поездов при организации смешанного высокоскоростного, скоростного пассажирского и грузового движения на железнодорожной линии. Использование методики позволило установить, что при соотношении пассажирских и грузовых поездов 1 к 9, минимальное потребное расстояние между станциями обгона составляет 30–40 км. С учетом повышения адаптивности ГДП к реальным условиям пропуска поездов рекомендуемое расстояние между станциями обгона должно составлять 25–30 км [3, 4].

4 Разработаны методики оценки маршрутных скоростей движения поездов и изменения наличной пропускной способности железнодорожных участков в зависимости от реализуемых видов МОДСВП. Определены параметры МОДСВП при которых можно повысить маршрутную скорость поездов на 12–35% [1, 2, 4, 7].

### **Рекомендации по практическому использованию результатов**

Результаты исследований использованы в научно-исследовательской лаборатории «Управление перевозочным процессом», в учебном процессе учреждения образования «Белорусский государственный университет транспорта».

Разработанные метод прогнозирования пассажиропотоков и варианты организации пассажирских перевозок на прогнозный период используются в пассажирской службе Белорусской железной дороги при обосновании маршрутов следования и схем пассажирских поездов на локомотивной тяге.

Уточненная методика расчета пропускной способности железнодорожных участков используется в подразделениях Белорусской железной дороги при оценке пропускной способности объектов инфраструктуры, в том числе при вводе в ГДП новых категорий поездов.

Документы, подтверждающие практическое использование результатов диссертационного исследования, включены в приложение к работе.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

### Статьи в рецензируемых изданиях

1 Ерофеев А.А., Ван Юйбянь. Варианты размещения ВСМ-станций в городских агломерациях // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2020. – № 2(41). – С. 90–93.

2 Ван Юйбянь. Прогнозирование объёмов перевозок пассажиров на основе теории «Серых систем» // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2021. – № 1(42). – С. 77–81.

3 Ван Юйбянь. Оценка расстояния между станциями обгона поездов при организации смешанного высокоскоростного, пассажирского и грузового движения на железнодорожной линии // Транспортні системи та технології перевезень. – 2021(21). – С. 5–15.

4 Ван Юйбянь. Анализ факторов, оказывающих влияние на пропускную способность железнодорожного участка при организации высокоскоростного движения // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов: Междунар. сб. науч. тр. – Гомель: БелГУТ, 2021. – Вып. 3. – С. 46–57.

5 Ван Юйбянь. Аналитический расчет коэффициента съема поездов при организации высокоскоростного движения // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2021. – № 2(43). – С. 92–96.

### Материалы конференций

6 Ерофеев А.А., Ван Юйбянь. Задачи организации взаимодействия существующей и высокоскоростной железнодорожных систем // Проблемы безопасности на транспорте: Материалы IX Междунар. науч.-практ. конф.: в 2 ч. Ч. 2 / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп.; под общ. ред. Ю.И. Кулаженко. – Гомель: БелГУТ, 2019. – С. 114–115.

7 Ерофеев А.А., Ван Юйбянь. Анализ моделей организации высокоскоростных железнодорожных перевозок // Проблемы безопасности на транспорте: Материалы X Междунар. науч.-практ. конф.: в 5 ч. Ч. 3 / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп.; под общ. ред. Ю.И. Кулаженко. – Гомель: БелГУТ, 2020. – С. 111–113.

8 Ван Юйбянь. Опыт организации скоростного и высокоскоростного движения поездов в «малых» странах ЕС // Тихомировские чтения: Синергия технологии перевозочного процесса: Материалы Междунар. науч.-практ. конф.: под общ. ред. А.А. Ерофеева. – Гомель: БелГУТ, 10–11 декабря 2021. – С. 87–91.

9 Ерофеев А.А., Ван Юйбянь. Анализ эластичности спроса на железнодорожные пассажирские перевозки // Академик Владимир Николаевич Образцов – основоположник транспортной науки: Материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 125-летию университета, 21–22 октября 2021. – М. – С. 129–136.

10 Erofeev A.A., Wang Yubian. High-speed rail induced traffic forecasting based on elasticity of demand // Importance of Soft Skills for Life and Scientific

Success: Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Internet Conference, March 1–2, 2022. – Dnipro, Ukraine. – P. 48–49.

11 Erofeev A.A., Wang Yubian. Composition analysis and forecast of passenger flow of high-speed railway // Наука в современном информационном обществе: Материалы XXVIII Междунар. науч.-практ. конф., 27–28 февраля 2022. – North Charleston, USA. – P. 103–108.

12 Ван Юйбянь. Консолидация пассажиропотоков при организации высокоскоростного движения поездов // Проблемы безопасности на транспорте: Материалы XI Междунар. науч.-практ. конф.: в 2 ч. Ч. 2 / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп.; под общ. ред. Ю.И. Кулаженко. – Гомель: БелГУТ, 2021. – С. 58–60.

# РЕЗЮМЕ

Ван Юйбянь

## Модель организации движения скоростных и высокоскоростных пассажирских поездов

**Ключевые слова:** скоростной пассажирский поезд, высокоскоростной пассажирских поезд, график движения поездов, модель организации движения поездов, пропускная способность, маршрутная скорость, коэффициент съема поездов.

**Цель работы:** разработка модели организации движения скоростных и высокоскоростных поездов, обеспечивающей эффективное использование пропускной способности железнодорожных участков и удовлетворение перспективного спроса населения на железнодорожные перевозки.

**Методы исследования:** Logit-модель прогнозирования; традиционная и улучшенная модели GM (1:1); статистические методы обработки данных; численный эксперимент.

**Полученные результаты и их новизна.** Разработан новый метод определения потребной пропускной способности железнодорожных участков при повышении скоростей движения пассажирских поездов, который позволяет устанавливать прогнозные размеры движения с учетом параметров взаимодействующих видов транспорта и в зависимости от реализуемых скоростей движения поездов. Выполнено развитие метода расчета пропускной способности железнодорожных участков, который позволяет установить аналитические зависимости коэффициентов основного и дополнительного съема поездов в зависимости от скоростей движения и схем прокладки поездов. Разработана новая методика расчета потребного расстояния между станциями обгона поездов при организации скоростного и высокоскоростного движения. Создана методика оценки маршрутных скоростей движения поездов и изменения наличной пропускной способности железнодорожных участков.

**Степень использования и рекомендации.** Результаты исследований использованы в научно-исследовательской лаборатории «Управление перевозочным процессом», в учебном процессе учреждения образования «Белорусский государственный университет транспорта». Могут быть использованы на предприятиях железнодорожного транспорта при обосновании моделей и маршрутов следования пассажирских поездов, а также при оценке пропускной способности объектов инфраструктуры, в том числе при вводе в график новых категорий пассажирских поездов.

**Область применения:** железнодорожный транспорт.

## РЭЗЬЮМЭ

Ван Юйбянь (王玉汴)

### Мадэль арганізацыі руху хуткасных і высакахуткасных пасажырскіх цягнікоў

**Ключавыя словы:** хуткасны пасажырскі цягнік, высакахуткасны пасажырскі цягнік, графік руху цягнікоў, мадэль арганізацыі руху цягнікоў, прапускная здольнасць, маршрутная хуткасць, каэфіцыент здыму цягнікоў.

**Мэта даследвання:** распрацоўка мадэлі арганізацыі руху хуткасных і высакахуткасных цягнікоў, якая забяспечвае эфектыўнае выкарыстанне прапускной здольнасці чыгуначных участкаў і задавальненне перспектыўнага попыту насельніцтва на чыгуначныя перавозкі.

**Метады даследвання:** Logit-мадэль прагназавання; традыцыйная і палепшаная мадэлі GM (1:1); статыстычныя метады апрацоўкі даных; лікавы эксперымент.

**Атрыманыя рэзультаты і іх навізна:** Распрацаваны новы метады вызначэння патрэбнай прапускной здольнасці чыгуначных участкаў пры павышэнні хуткасцей руху пасажырскіх цягнікоў, які дае магчымасць устанаўліваць прагнозныя памеры руху з улікам параметраў узаемадзеяння відаў транспарту і ў залежнасці ад рэалізуемых хуткасцей руху цягнікоў. Выканана развіццё метаду разліку прапускной здольнасці чыгуначных участкаў, які дае магчымасць устанавіць аналітычныя залежнасці каэфіцыентаў асноўнага і дадатковага здыму цягнікоў у залежнасці ад хуткасцей руху і схем пракладкі цягнікоў. Распрацавана новая метадыка разліку патрэбнай адлегласці паміж станцыямі абгону цягнікоў пры арганізацыі хуткаснага і высакахуткаснага руху. Створана метадыка ацэнкі маршрутных хуткасцей руху цягнікоў і змянення наяўнай прапускной здольнасці чыгуначных участкаў.

**Рэкамендацыі па выкарыстанню.** Вынікі даследаванняў выкарыстаны ў навукова-даследчай лабараторыі «Кіраванне перавозачнымі працэсамі», у навучальным працэсе ўстанова адукацыі «Беларускі дзяржаўны ўніверсітэт транспарту». Могучь быць выкарыстаны на прадпрыемствах чыгуначнага транспарту пры абгрунтаванні мадэлей і маршрутаў руху пасажырскіх цягнікоў, а таксама пры ацэнцы прапускной здольнасці аб'ектаў інфраструктуры, у тым ліку пры ўводзе ў ГДП новых катэгорый пасажырскіх цягнікоў.

**Вобласць выкарыстання:** чыгуначны транспарт.

## SUMMARY

Wang Yubian (王玉汴)

### Model of organization of express and high-speed passenger trains

**Key words:** express passenger train, high-speed passenger train, train schedule, train traffic organization model, throughput, route speed, train removal rate.

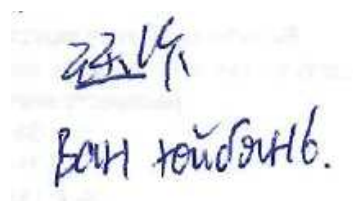
**The aim of the research:** development of model for organizing the movement of express and high-speed trains that ensure the efficient use of the capacity of railway sections and meet the prospective demand of the population for rail transportation.

**Methods of the research:** Logit forecasting model; traditional and improved GM models (1:1); statistical methods of data processing; numerical experiment.

**Obtained results and their novelty.** A new method has been developed for determining the required throughput capacity of railway sections with an increase in the speed of passenger trains, which allows you to set the predicted size of traffic, taking into account the parameters of the interacting modes of transport and depending on the realized train speeds. The development of a method for calculating the throughput capacity of railway sections has been carried out, which allows you to establish analytical dependences of the coefficients of the main and additional removal of trains depending on the speeds and schemes of laying trains. A new method for calculating the required distance between overtaking stations for the organization of high-speed has been developed. A methodology has been created for assessing the route speeds of trains and changing the available capacity of railway sections.

**Application recommendations.** The results of the research were used in the research laboratory "Management of transportation processes", in the educational process of the educational institution "Belarusian State University of Transport". They can be used at railway transport enterprises when justifying models and routes for passenger trains, as well as when assessing the capacity of infrastructure facilities, including when introducing new categories of passenger trains into the schedule.

**Field of application:** Railway transport.



Handwritten signature and text in Cyrillic script, likely a confirmation or approval mark.

Научное издание

*ВАН ЮЙБЯНЬ*

**МОДЕЛЬ ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ СКОРОСТНЫХ  
И ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ПАССАЖИРСКИХ ПОЕЗДОВ**

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

по специальности

05.22.08 – Управление процессами перевозок