

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ПЕРЕВОЗОК

Оригинальная научная статья

УДК 656.022.5

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

Научная специальность: 2.9.4. Управление процессами перевозок



Расчет показателей дублируемости маршрутной сети на полигоне транспортного обслуживания пассажиров

М. А. Килочицкая✉

Белорусский государственный университет транспорта (БелГУТ),
Гомель, Республика Беларусь

АННОТАЦИЯ

Введение. Современные транспортные системы региональных (пригородных) перевозок пассажиров сталкиваются с проблемой избыточного дублирования маршрутов между железнодорожным и автомобильным транспортом, что приводит к нерациональному использованию ресурсов, росту эксплуатационных затрат и снижению качества обслуживания населения. Актуальность исследования показателей дублируемости маршрутной сети обусловлена необходимостью оптимизации транспортной инфраструктуры, минимизации пересечений маршрутов и повышения эффективности распределения пассажиропотоков. При этом дублируемость маршрутов не является исключительно негативным явлением, так как в определенных случаях способствует повышению транспортной доступности и гибкости передвижения пассажиров.

Материалы и методы. Разработана методика расчета показателей дублируемости маршрутной сети железнодорожного и автомобильного транспорта на полигоне транспортного обслуживания пассажиров районного подчинения. Использованы статистические данные Белорусской железной дороги по объему и структуре перевезенных пассажиров железнодорожным транспортом по видам сообщений, а также количество отправленных пассажиров со станций по маршрутам курсирования; данные от операторов автомобильных перевозок пассажиров и автомобильных перевозчиков по маршрутам и рейсам, относящимся к анализируемому полигону. Для оценки дублируемости маршрутов перевозки пассажиров ключевыми показателями выбраны коэффициент пересечения маршрутов, показатель конкуренции провозных возможностей и эффективность распределения пассажиропотоков.

Результаты. Анализ дублируемости маршрутной сети на полигоне выявил высокий уровень пересечения маршрутов железнодорожного и автомобильного транспорта на участках Минск — Осиповичи и Осиповичи — Гродзянка. Интегральный показатель дублируемости варьируется от 0,01 до 1,04 и от 0,55 до 5,52 соответственно, указывая на различную степень конкуренции и взаимодополнения видов транспорта. Предложены оптимизационные меры по сокращению частоты движения железнодорожных маршрутов с перераспределением пассажиропотоков на автомобильный транспорт, что снижает эксплуатационные затраты и повышает эффективность распределения ресурсов.

Обсуждение и заключение. Разработка комплексного подхода к расчету дублируемости маршрутной сети на региональном уровне не только оптимизирует использование инфраструктуры, но и способствует устойчивому развитию транспортных систем, что соответствует целям повышения доступности и эффективности пассажирских перевозок.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: железнодорожный транспорт, автомобильный транспорт, маршрутная сеть, маршрут перевозки, дублируемость маршрутов, транспортная работа, транспортное обслуживание

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Килочицкая М. А. Расчет показателей дублируемости маршрутной сети на полигоне транспортного обслуживания пассажиров // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2025. Т. 84, № 2. С. 127–139.

TRANSPORTATION PROCESS MANAGEMENT

Original article

UDK 656.022.5

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

Scientific specialty: 2.9.4. Transportation process management



Calculation of duplication indicators of the route network at the passenger transportation range

Marina A. Kilochitskaya✉

Belarusian State University of Transport,
Gomel, Republic of Belarus

ABSTRACT

Introduction. Modern transport systems of regional (suburban) passenger transportation face the problem of excessive route duplication between rail and road transport, which leads to irrational use of resources, increased operating costs and decrease in the quality of public services. The relevance of studying route network duplication indicators is due to the need to optimise transport infrastructure, minimise route crossings and increase the efficiency of passenger traffic flow distribution. At the same time, route duplication is not an exclusively negative phenomenon, as in certain cases it helps to increase transport accessibility and flexibility of passenger movement.

Materials and methods. Methodology has been developed for calculating the indicators of duplication of the route network of railway and automobile transport at the passenger transportation range of the district subordination. Statistical data from Belarusian Railways on the volume and structure of passengers transported by rail by the types of communications, as well as the number of passengers sent from stations along the routes and data from passenger transportation operators and car carriers on routes and flights related to the analysed range were used. In order to assess the duplication of passenger transportation routes, the key indicators are the route intersection coefficient, the indicator of the competition of transportation capabilities and the efficiency of passenger traffic distribution.

Results. Analysis of route network duplication at testing area revealed a high level of railway and road routes crossings in the Minsk — Osipovichy and Osipovichy — Grodzyanka sections. The integral duplication indicator varies from 0.01 to 1.04 and from 0.55 to 5.52, respectively, indicating a different degree of competition and complementarity between transport modes. The author proposes optimisation measures to reduce the frequency of railway routes with the redistribution of passenger traffic flow to road transport, which reduces operating costs and increases efficient allocation of resources.

Discussion and conclusion. The development of an integrated approach to calculating route network duplication at the regional level not only optimises the use of infrastructure, but also contributes to the sustainable development of transport systems, which meets the goals of increasing accessibility and efficiency of passenger transport services.

KEYWORDS: railway transport, road transport, route network, transportation route, route duplication, transport work, transport service

FOR CITATION: Kilochitskaya M.A. Calculation of duplication indicators of the route network at the passenger transportation range. *Russian Railway Science Journal*. 2025;84(2):127–139. (In Russ.).

✉ kil_ma@bsut.by (M. A. Kilochitskaya)

© Kilochitskaya M. A., 2025

Введение. Современная транспортная система крупных регионов характеризуется высокой степенью интеграции различных видов транспорта, что требует эффективного управления процессами перевозок пассажиров на маршрутной сети. Одним из ключевых аспектов управления является оценка дублируемости маршрутов железнодорожного и автомобильного пассажирского транспорта на полигоне транспортного обслуживания пассажиров. Избыточность или, напротив, недостаточная координация маршрутной сети может приводить к нерациональному использованию инфраструктуры, увеличению издержек перевозчиков и снижению качества обслуживания пассажиров.

Оптимизация маршрутной сети невозможна без детального анализа показателей дублируемости, которые позволяют выявить пересечения и параллельное функционирование маршрутов различных видов транспорта. Эти показатели помогают определить, в какой степени железнодорожный и автомобильный виды транспорта дублируют друг друга, где возможна оптимизация маршрутов, а также какие направления требуют перераспределения потоков для более эффективного обслуживания пассажиров.

Краткий обзор проблемы. Дублирование маршрутной сети выражается в наличии параллельных маршрутов железнодорожного и автомобильного транспорта, обслуживающих одни и те же направления с сопоставимой частотой и уровнем заполняемости транспортных средств. В ряде случаев это приводит к конкуренции между видами транспорта, снижению заполняемости подвижного состава и неэффективному расходованию ресурсов. В то же время, при недостаточном уровне дублируемости пассажиры могут сталкиваться с нехваткой альтернативных маршрутов, особенно в периоды сбоев или перегрузки отдельных видов транспорта.

Сложность анализа заключается в том, что дублируемость не является однозначно негативным явлением. В ряде случаев она способствует повышению транспортной доступности, особенно для удаленных районов, а также обеспечивает гибкость передвижения пассажиров. Однако при этом важно сбалансированное распределение маршрутов, исключающее неоправданное дублирование при наличии возможностей для интеграции различных видов транспорта.

Дублирование маршрутной сети общественного транспорта активно изучается в научной литературе, особенно в контексте эффективности, устойчивости и доступности транспортных систем.

Так, в статье [1] проанализирована проблема дублирования маршрутов регулярных перевозок, предложен метод определения показателя дублирования маршрутов с использованием показателя смежности маршрутов, учитывающего направления и объемы корреспонденций пассажиров. В то же время автор

отмечает, что при наличии результатов, отражающих высокий уровень смежности маршрутов, окончательное решение о сохранении, изменении или отмене маршрутов следует принимать только после всестороннего анализа других факторов, не ограничиваясь коэффициентом смежности маршрутов, которые не описаны в исследовании.

Статья [2] посвящена исследованию дублируемости маршрутов общественного транспорта в городской среде на примере г. Ижевска (Удмуртская Республика в составе Российской Федерации). Авторы разработали методику, основанную на теории графов и линейной алгебре, для количественной оценки дублирования с использованием матрицы маршрутов, вектор-маршрутов и коэффициентов дублируемости, рассчитанных через проекцию одного вектора маршрута на другой. Данная методика подходит для оценки городских автобусных маршрутов и оценивает исключительно их топографическое пересечение.

Российский опыт планирования маршрутных сетей на примере городов Ангарск, Киров и Тюмень обобщен в исследовании [3]. Авторы затрагивают вопрос дублирования маршрутов исключительно в контексте усиления сформированной маршрутной сети необходимыми маршрутами, позволяющими совершать поездки пассажиров с культурно-бытовыми целями, выделяемыми в дополнительную маршрутную сеть, однако в исследовании не оценивалась степень дублирования таких маршрутов.

Зарубежные исследования показывают, что дублирование маршрутов может быть как позитивным, так и негативным явлением. Например, авторы статьи [4] исследуют восприятие пересечения маршрутов в мультимодальных городских системах и оценивают ряд моделей (PSCL) для учета корреляций между пересекающимися маршрутами, основываясь на данных активации смарт-карт пассажиров в г. Амстердаме (Нидерланды). Результаты указывают, что пересечение маршрутов на узлах пересадок ценится пассажирами положительно, но избыточное дублирование на отдельных участках может снижать эффективность перевозок.

Научная работа [5] фокусирует внимание на оптимизации расписания автобусных маршрутов с учетом их пересечения за счет применения эвристического алгоритма, минимизирующего общие затраты на время поездок пассажиров и эксплуатационные расходы компании. Рассматриваемый пример г. Харбина (Китай) показывает, что учет пересечения маршрутов позволяет снизить общее время поездок на 5,2 % и затраты на 8,8 % по сравнению с моделями, игнорирующими дублирование.

В [6] проанализирована автобусная сеть в г. Акита (Япония) посредством анализа эффективности (DEA). Были выделены проблемы, связанные с радиальной

структурой города и дублированием маршрутов, что приводит к преобладанию расходов над доходами на убыточных маршрутах. Доля маршрутов с дублированием составляет 20 % от всего количества, но они дают более 80 % убытков автобусной сети. Предлагается разделение маршрутов на магистральные и на ответвления для повышения эффективности, что демонстрирует необходимость управления дублированием для экономической устойчивости.

Работа [7] представляет обзор алгоритмов планирования маршрутов в транспортных сетях, включая общественный транспорт. Хотя дублирование не являлось центральной темой исследования, авторы указывают, что планирование может учитывать пересечения для обеспечения устойчивости сети, особенно в условиях сбоев. В статье также отмечено, что дублирование может повышать резервы транспортной системы, но требует значительных предварительных расчетов.

В исследовании [8] авторы анализировали вопросы взаимодействия между метро и общественным автомобильным транспортом. Результаты показывают, что в мультимодальных системах общественного транспорта автобусные маршруты и линии метрополитена скорее сосуществуют, чем сотрудничают, имеет место дублирование маршрутов, что часто приводит к конкуренции, а не кооперации. Авторы подчеркивают, что необходимо учитывать индивидуальные особенности сетей общественного транспорта и способствовать их интеграции.

Выполненный анализ показывает, что проблема дублируемости сохраняет свою актуальность для маршрутных сетей. Цель данной работы — предложить методику, позволяющую рассчитать показатели и количественно оценить степень параллельного функционирования маршрутов. Такая методика будет востребована при принятии решений по корректировке маршрутной сети, повышению ее эффективности и улучшению качества транспортного обслуживания пассажиров.

Материалы и методы. В условиях значительного спроса на пригородные перевозки, особенно во временные периоды с высокой нагрузкой (например, в утренние и вечерние часы, поездки на работу и с работы), важно обеспечить баланс между пропускной способностью железнодорожных линий и гибкостью автомобильного транспорта. Однако дублирование маршрутов часто возникает стихийно, без учета анализа пассажиропотоков и пространственного распределения спроса, что усугубляет неравномерность использования вместимости транспортных средств и увеличивает время ожидания для пассажиров.

Предлагаемая методика расчета показателей дублируемости маршрутной сети железнодорожного и автомобильного видов транспорта на полигоне транспорт-

ного обслуживания пассажиров районного подчинения заключается в следующем.

Первым этапом является формирование границ полигона транспортного обслуживания пассажиров, в пределах которого будет проводиться анализ. Отделяются все маршруты железнодорожного (городское и региональное сообщение) и автомобильного (пригородное и межобластное сообщение) видов пассажирского транспорта.

На втором этапе производится графическое представление маршрутной сети анализируемого полигона транспортного обслуживания. Для удобства анализа транспортная сеть может быть представлена в виде графа, где узлы (вершины) представляют собой останочные и пересадочные пункты (вокзалы, станции, остановки), а ребра (дуги) — транспортные связи между узлами с учетом характеристик маршрутов (длина, время в пути, частота движения, вместимость подвижного состава). В таком виде граф строится отдельно для железнодорожного и автомобильного транспорта, а затем совмещается для выявления зон пересечения маршрутов.

На третьем этапе производится выявление участков дублирования, при этом дублирующими считаются участки, где маршруты железнодорожного и автомобильного видов транспорта проходят параллельно на протяжении значительного расстояния, обслуживают одни и те же населенные пункты или районы, предлагая альтернативные способы передвижения с сопоставимым временем в пути либо имеют схожий график движения (разница в интервалах движения не превышает 20–30 %). Анализ выполняется на основе маршрутных данных и данных о пассажиропотоке.

На четвертом этапе для количественной оценки степени дублирования производится расчет коэффициента дублируемости K_d , рассчитываемый по формуле:

$$K_d = \frac{L_d}{L_{min}}, \quad (1)$$

где L_d — суммарная длина дублирующих участков маршрутов железнодорожного и автомобильного транспорта, км; L_{min} — длина более короткого маршрута из дублирующей пары, км.

Для маршрутов железнодорожного и автомобильного транспорта, имеющих пространственное пересечение, необходима дополнительная оценка коэффициентов использования вместимости транспортных средств K_z (отношение фактического количества пассажиров к вместимости транспортных средств) и интенсивности движения f (количество рейсов в сутки на данном участке). Для более полной и точной оценки дублируемости вводится интегральный

показатель D , объединяющий показатели топологической дублируемости маршрутов, частоту движения и заполняемость транспорта:

$$D = K_d \frac{f_{\text{жд}} K_{\text{зжд}}}{f_{\text{авт}} K_{\text{завт}}}, \quad (2)$$

где $f_{\text{авт}}$, $f_{\text{жд}}$ — частота движения автомобильных транспортных средств и железнодорожного подвижного состава на дублируемом участке, рейсы/сутки; $K_{\text{завт}}$, $K_{\text{зжд}}$ — коэффициенты использования вместимости автомобильных транспортных средств и железнодорожного подвижного состава.

Интерпретация полученных значений K_d и D представлена в табл. 1.

На основе полученных значений коэффициентов выявляются проблемные участки маршрутной сети на полигоне транспортного обслуживания пассажиров. В зависимости от уровня дублирования, существующего пассажиропотока и использования вместимости железнодорожного и автомобильного транспорта предлагается проведение оптимизационных мероприятий (табл. 2).

Таким образом, по мнению автора предложенная методика позволяет объективно оценить дублируемость маршрутной сети железнодорожного и автомобильного транспорта на полигоне транспортного обслуживания пассажиров районного подчинения и принять решения по ее оптимизации, повышая эффективность транспортного обслуживания пассажиров.

Таблица 1

Уровень дублирования маршрутов в зависимости от значений K_d и D *

Table 1

Level of routes duplication depending on the values of K_d and D *

Уровень дублирования	Характеристика уровня	Коэффициент	Интегральный показатель D
Низкий	маршруты не конкурируют, а дополняют друг друга	$K_d < 0,3$	$D < 0,6$
Умеренный	есть частичное пересечение маршрутов, но их роли различны	$0,3 \leq K_d < 0,7$	$0,6 \leq D < 1,0$
Высокий	существенное пересечение, потенциальная избыточность	$K_d \geq 0,7$	$D \geq 1,0$

* Источник: данные автора

* Source: author's data

Фактические данные. Для расчета показателей дублируемости маршрутной сети был рассмотрен полигон транспортного обслуживания административно-территориальной единицы Республики Беларусь, границы которого включают участок Минск — Осиповичи с охватом г. Минска, а также Минской и Могилевской областей. Маршрутная сеть анализируемого полигона транспортного обслуживания представлена на рис. 1 [9].

Таблица 2

Матрица рекомендаций по уровням дублирования маршрутов железнодорожного и автомобильного транспорта*

Table 2

Matrix of recommendations on the levels of rail and road transport routes duplication*

Характеристика пассажиропотока и уровня загрузки**	Уровень дублирования		
	Низкий	Умеренный	Высокий
Низкий пассажиропоток, низкая загрузка	оставить без изменений, ввести новые маршруты	возможное сокращение дублирующих маршрутов	сокращение параллельных маршрутов или перевод на менее емкий транспорт
Высокий пассажиропоток, низкая загрузка	добавить маршруты в перспективных зонах	согласование расписаний для равномерного распределения пассажиров	перенаправление части потоков, введение экспресс-маршрутов
Низкий пассажиропоток, высокая загрузка	оптимизировать использование вместимости транспортных средств	оптимизация тарифов и схем движения	оптимизация загруженных маршрутов, сокращений дублируемых маршрутов
Высокий пассажиропоток, высокая загрузка	увеличить вместимость подвижного состава, расширить маршрутную сеть	введение пересадочных узлов, координация видов транспорта	развитие новой маршрутной сети, перераспределение потоков

* Источник: данные автора

* Source: author's data

** Под загрузкой понимается уровень использования вместимости автомобильных транспортных средств и железнодорожного подвижного состава

** Loading refers to the level of capacity utilisation of road vehicles and railway rolling stock

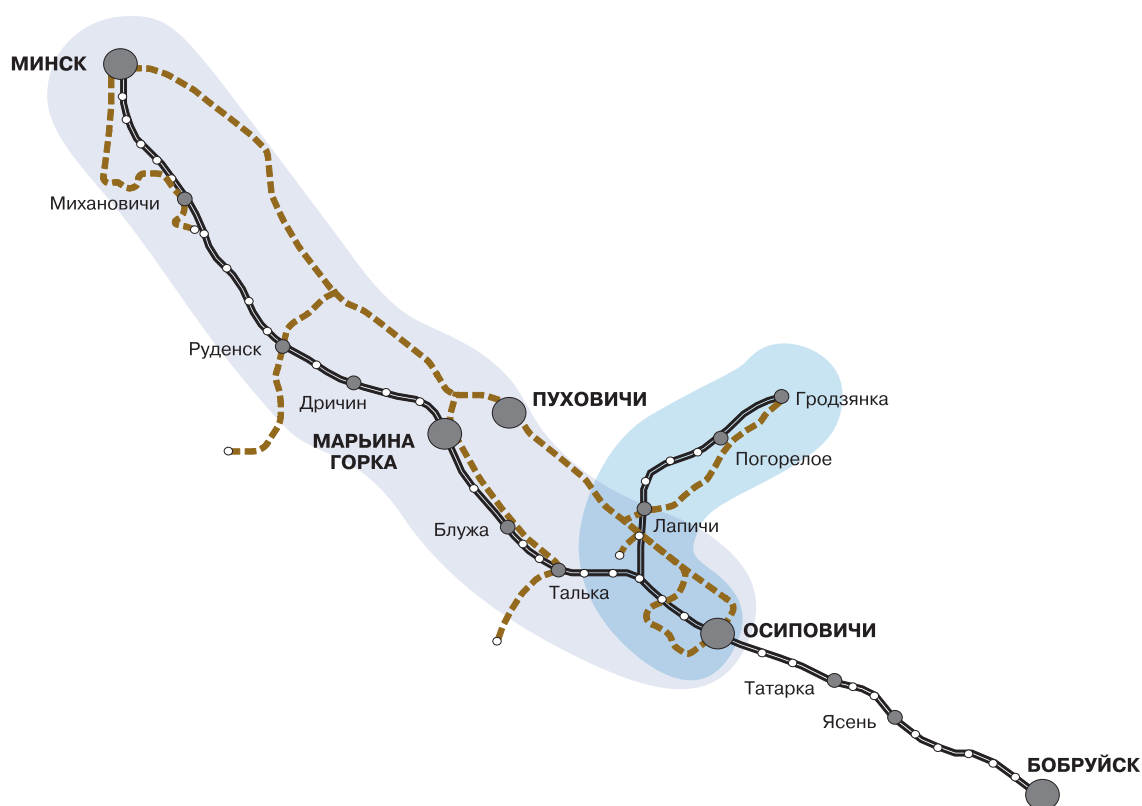


Рис. 1. Маршрутная сеть анализируемого полигона транспортного обслуживания*

— железнодорожное сообщение; — автомобильное сообщение; анализируемые участки

* Источник: составлено автором по материалам исследования

Fig. 1. Route network of the analysed transportation service range*

— railway service; — car service; analysed regions

* Source: compiled by the author according to research materials

На основании рис. 1 выявлены следующие участки дублирования на исследуемом полигоне транспортного обслуживания пассажиров: Минск — Осиповичи, Осиповичи — Гродзянка, где маршруты железнодорожного и автомобильного транспорта проходят параллельно на протяжении выявленных участков, обслуживают одни и те же населенные пункты.

Для выполнения анализа на предмет дублирования участков Минск — Осиповичи и Осиповичи — Гродзянка необходимо использовать маршрутные данные и данные о пассажиропотоке на анализируемом полигоне^{1, 2}.

Перечень маршрутов железнодорожного и автомобильного транспорта с зоной обслуживания населенных пунктов Минской и Могилевской областей

на выявленных участках дублирования представлен в табл. 3 и табл. 4 соответственно.

Анализ данных табл. 3 и 4 показывает, что существующие параметры обслуживания пассажиров в полной мере удовлетворяют потребности населения выбранного полигона транспортного обслуживания в перевозках. В части железнодорожного транспорта необходимо проведение корректировки размеров движения железнодорожного транспорта в зависимости от фактически выполняемого объема транспортной работы по перевозке пассажиров по направлению Минск — Осиповичи. На маршрутах автотранспорта требуется реализовать комплекс мер для улучшения системы транспортного обслуживания.

¹ Государственным объединением «Белорусская железная дорога» была предоставлена исходная база для выполнения анализа из отчетных документов Кассовой компьютерной системы (ККС): объем и структура перевезенных пассажиров железнодорожным транспортом по видам сообщений между населенными пунктами полигона за неделю, а также количество отправленных пассажиров со станций по маршрутам курсирования за аналогичный период.

² По запросу Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь были предоставлены данные от операторов автомобильных перевозок пассажиров и автомобильных перевозчиков, сформированные на основании фактически проданных проездных документов (билетов) за неделю по маршрутам и рейсам, относящимся к анализируемому полигону.

Таблица 3

Маршруты железнодорожного транспорта с зоной обслуживания населенных пунктов Минской и Могилевской областей*

Table 3

Railway transport routes with settlement service area for Minsk and Mogilev regions*

Маршрут	Протяженность маршрута, км	Вид сообщения	Тип ПС	Периодичность курсирования	Количество пар поездов
Участок дублирования Минск — Осиповичи					
Минск — Руденск	41	городское	ЭПг	ежедневно	10
Минск — Пуховичи	63	региональное эконом класса	ЭР9Т	ежедневно	2
Минск — Талька	83	региональное эконом класса	ЭР9Т	ежедневно	3
Минск — Осиповичи	107	региональное эконом класса	ЭР9Т	ежедневно	8
				пт., сб., вск.	1
Минск — Бобруйск	149	региональное эконом класса	ЭР9Т	ежедневно	1
Участок дублирования Осиповичи — Гродзянка					
Осиповичи — Гродзянка	44	региональное эконом класса	ПВЛТ	ежедневно	1
				по выходным	1

* Источник: составлено автором по материалам исследования

* Source: compiled by the author according to research materials

Таблица 4

Маршруты автомобильного транспорта с зоной обслуживания населенных пунктов Минской и Могилевской областей*

Table 4

Road transport routes with settlement service area for Minsk and Mogilev regions*

Номер маршрута	Маршрут	Протяженность маршрута, км	Вид сообщения	Количество рейсов в неделю	Вместимость транспортного средства
Участок дублирования Минск — Осиповичи					
7603-ТК	Минск — Осиповичи	96,8–110	регулярное межобластное	53–167	15–17
475Э	Минск — АС Марьина Горка	54,0	регулярное пригородное	164	16–29
476С	Минск — АС Марьина Горка	54,7	регулярное пригородное	56	29
883С	Минск — Руденск ж.-д. ст.	74,5	регулярное пригородное	4	—
2075ТК	Минск — Марьина Горка	54,0	регулярное пригородное	238	17–20
218С	АС Марьина Горка — Сутин	35,3	регулярное пригородное	—	—
Участок дублирования Осиповичи — Гродзянка					
211С	Осиповичи — Гродзянка	50–61	регулярное	13	73–98
212С	Гродзянка — Осиповичи	53–58	регулярное	1–2	73
213С	Осиповичи — Погорелое	41–44	регулярное	2	73
215С	Осиповичи — Лапичи	28–33	регулярное	3	19–100
219С	Осиповичи — Гродзянка	55–62	регулярное	1–2	73

* Источник: составлено автором по материалам исследования

* Source: compiled by the author according to research materials

Объем транспортной работы, объем выполненных перевозок пассажиров и коэффициент использования вместимости транспортных средств по видам транспорта

и по маршрутам перевозки на рассматриваемых участках дублирования за неделю, установленные в соответствии с [10], приведены в табл. 5 и на рис. 2 и 3.

Таблица 5

Объемы транспортной работы, выполненных перевозок пассажиров и коэффициент использования вместимости транспортных средств по видам транспорта и по маршрутам перевозки*

Table 5

Volume of transport work, performed passenger transportation and the capacity utilisation factor of vehicle by type of transport and transportation routes*

Маршрут	Общее количество перевезенных пассажиров, тыс. чел.	Объем транспортной работы, пасс-км	Коэффициент использования вместимости
Участок Минск — Осиповичи			
Минск — Руденск	26 213	611 876	0,31–0,47
Минск — Пуховичи	9 367	252 174	0,05–0,22
Минск — Талька	20 990	597 762	0,10–0,50
Минск — Осиповичи	65 878	2 372 238	0,15–0,22
Минск — Бобруйск	11 667	447 645	0,12–0,30
7603-ТК Минск — Осиповичи	1 789	178 772	0,64–0,69
475Э Минск — АС Марьина Горка	2 928	126 490	0,49–0,89
476С Минск — АС Марьина Горка	948	41 484	0,47
883С Минск — Руденск ж.-д. ст.	сведения отсутствуют	сведения отсутствуют	—
2075ТК Минск — Марьина Горка	сведения отсутствуют	сведения отсутствуют	—
218С АС Марьина Горка — Сутин	сведения отсутствуют	сведения отсутствуют	—
Участок Осиповичи — Гродзянка			
Осиповичи — Гродзянка	696	30 624	0,46
211С Осиповичи — Гродзянка	1 100	34 100	0,45–0,70
212С Осиповичи — Гродзянка	53	1 378	0,16–0,36
213С Осиповичи — Погорелое	106	2 332	0,36–0,39
215С Осиповичи — Лапичи	75	1 275	0,13–0,80
219С Осиповичи — Гродзянка	150	4 650	0,58–1,03

* Источник: составлено автором по материалам исследования

* Source: compiled by the author according to research materials

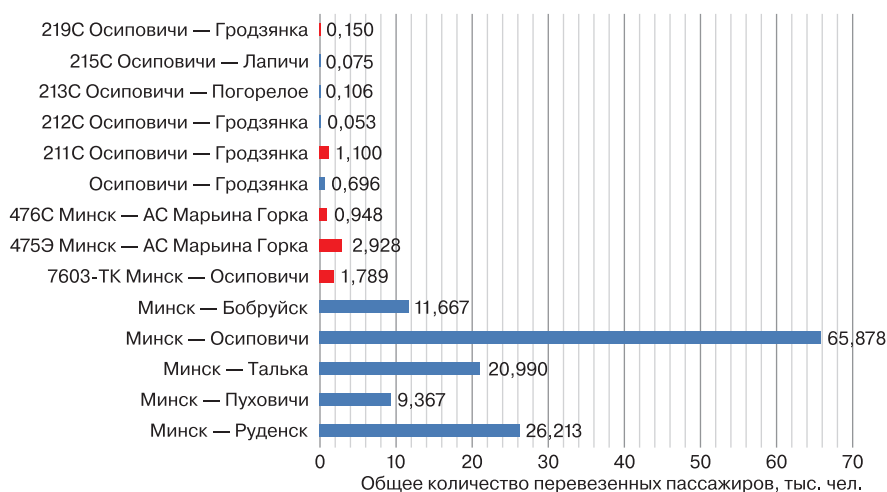


Рис. 2. Объем выполненных перевозок пассажиров по видам транспорта и по маршрутам перевозки*:
красный цвет — автомобильное сообщение; синий — железнодорожное сообщение

* Источник: составлено автором по материалам исследования

Fig.2. Volume of passenger transportation performed by types of transport and transportation routes*:
red — car service; blue — railway service

* Source: compiled by the author according to research materials

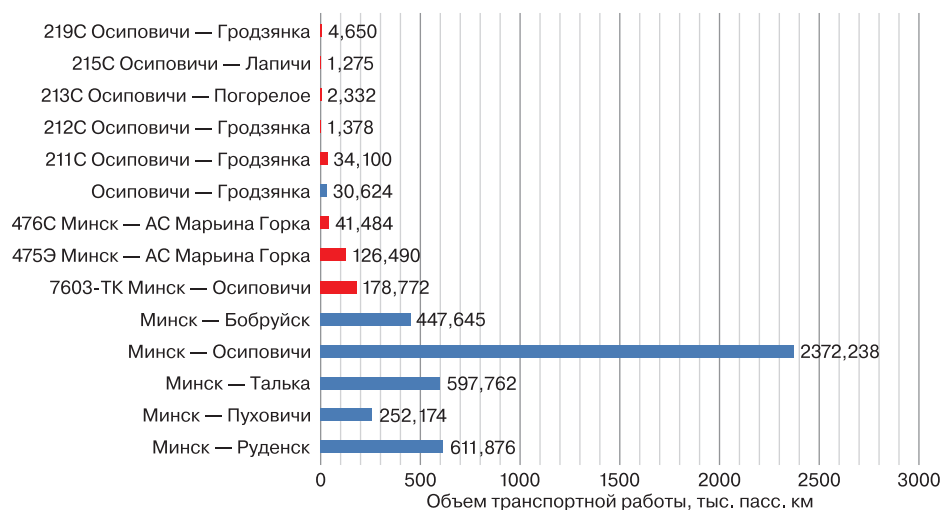


Рис. 3. Объем транспортной работы по видам транспорта и по маршрутам перевозки*:
красный цвет — автомобильное сообщение; синий — железнодорожное сообщение
* Источник: составлено автором по материалам исследования

Fig. 3. The volume of transport work by types of transport and transportation routes*:
red — car service; blue — railway service
* Source: compiled by the author according to research materials

Результаты. По данным, представленным на рис. 1 и в табл. 3, можно сделать вывод об иерархической структуре железнодорожной маршрутной сети полигона транспортного обслуживания.

На основании исходных данных, приведенных в табл. 3 и 4, был произведен расчет коэффициента дублируемости K_d по формуле (1) для участков Минск — Осиповичи и Осиповичи — Гродзянка. Поскольку железнодорожные и автомобильные маршруты на рассматриваемом полигоне транспортного обслуживания дублируют друг друга на всей протяженности более коротких маршрутов из дублирующих пар, то для всех маршрутов коэффициент K_d будет равен 1, что соответствует высокому уровню дублирования (см. табл. 1).

Для более полной и точной оценки дублируемости рассчитаем интегральный показатель D по формуле (2) для участков дублирования, исходные данные для расчета которого по маршрутам сведены в табл. 6. Для расчета принимаются маршруты, имеющие количественное значение заполняемости транспорта (см. табл. 5). В расчете также принимаем медианное значение коэффициента использования вместимости транспортных средств на маршруте.

Рассчитанные значения интегрального показателя D для участков дублирования Минск — Осиповичи и Осиповичи — Гродзянка представлены в табл. 7 и 8 соответственно.

На участке дублирования Минск — Осиповичи интегральный показатель D находится в интервале от 0,01 до 1,04 (см. табл. 7), что свидетельствует о том, что

большинство маршрутов не конкурируют, а дополняют друг друга, в то же время выявлена потенциальная избыточность дублируемых маршрутов железнодорожного и автомобильного транспорта при перевозке пассажиров.

На участке Осиповичи — Гродзянка интегральный показатель дублируемости D находится в интервале от 0,55 до 5,52 (см. табл. 8), что свидетельствует о существенном пересечении маршрута железнодорожного транспорта с автомобильными маршрутами на анализируемом направлении перевозок пассажиров. Сокращение частоты движения по железнодорожному маршруту Осиповичи — Гродзянка поспособствует уменьшению значений показателя D на анализируемом участке.

Анализ результатов. Проведенный анализ дублируемости маршрутной сети на полигоне транспортного обслуживания пассажиров на участке Минск — Осиповичи (с охватом г. Минска, Минской и Могилевской областей) позволил выявить ключевые особенности взаимодействия железнодорожного и автомобильного транспорта в условиях региональных (пригородных) перевозок. Расчет показателей дублируемости, основанный на предложенной методике, позволил количественно оценить степень пересечения маршрутов, конкуренцию провозных возможностей и эффективность распределения пассажиропотоков между различными видами пассажирского транспорта.

Результаты анализа свидетельствуют о высоком уровне пространственной дублируемости маршрутов на участках Минск — Осиповичи и Осиповичи — Гродзянка, где коэффициент дублируемости, рассчитанный

Таблица 6

Исходные данные для расчета интегрального показателя дублируемости D по маршрутам*

Table 6

Initial data on integrated duplication indicator D calculation by routes*

Маршрут	Частота движения, $f_{\text{авт}}$ (рейсы/сутки)	Частота движения, $f_{\text{жд}}$ (рейсы/сутки)	Коэффициент использования вместимости, $K_{\text{з авт}}$	Коэффициент использования вместимости, $K_{\text{з жд}}$
Маршруты автомобильного транспорта				
7603-ТК Минск — Осиповичи	220	—	0,665	—
475Э Минск — АС Марьина Горка	164	—	0,690	—
476С Минск — АС Марьина Горка	56	—	0,470	—
211С Осиповичи — Гродзянка	13	—	0,575	—
212С Осиповичи — Гродзянка	3	—	0,260	—
213С Осиповичи — Погорелое	2	—	0,375	—
215С Осиповичи — Лапичи	3	—	0,465	—
219С Осиповичи — Гродзянка	3	—	0,805	—
Маршруты железнодорожного транспорта				
Минск — Руденск	—	70	—	0,390
Минск — Пуховичи	—	14	—	0,135
Минск — Талька	—	21	—	0,300
Минск — Осиповичи	—	59	—	0,185
Минск — Бобруйск	—	7	—	0,210
Осиповичи — Гродзянка	—	9	—	0,460

* Источник: составлено автором по материалам исследования

* Source: compiled by the author according to research materials

Таблица 7

Значения интегрального показателя дублируемости D для участка Минск — Осиповичи*

Table 7

Values of integrated duplication indicator D for the Minsk — Osipovichi section*

Железнодорожный маршрут	Автомобильный маршрут		
	7603-ТК Минск — Осиповичи	475Э Минск — АС Марьина Горка	476С Минск — АС Марьина Горка
Минск — Руденск	0,19	0,24	1,04
Минск — Пуховичи	0,01	0,02	0,07
Минск — Талька	0,04	0,06	0,24
Минск — Осиповичи	0,07	0,10	0,41
Минск — Бобруйск	0,01	0,01	0,06

* Источник: составлено автором по материалам исследования

* Source: compiled by the author according to research materials

Таблица 8

Значения интегрального показателя дублируемости D для участка дублирования Осиповичи — Гродзянка*

Table 8

Values of the integrated duplication indicator D for the Osipovichi — Grodzyanka duplication section*

Железнодорожный маршрут	Автомобильный маршрут				
	211С Осиповичи — Гродзянка	212С Осиповичи — Гродзянка	213С Осиповичи — Погорелое	215С Осиповичи — Лапичи	219С Осиповичи — Гродзянка
Осиповичи — Гродзянка	0,55	5,31	5,52	2,97	1,71

* Источник: составлено автором по материалам исследования

* Source: compiled by the author according to research materials

по формуле (1), достигает значения 1. Это свидетельствует о полном совпадении маршрутов железнодорожного и автомобильного транспорта на значительных отрезках сети. Однако интегральный показатель дублируемости, рассчитанный по формуле (2) и учитывающий частоту движения и коэффициент использования вместимости транспортных средств, демонстрирует различия в характере этого пересечения.

На участке Минск — Осиповичи значения интегрального показателя дублируемости варьируются от 0,01 до 1,04, что указывает на преимущественно взаимодополняющий характер функционирования видов транспорта, за исключением отдельных маршрутов, где наблюдается потенциальная избыточность.

В качестве рекомендаций по оптимизации дублируемых маршрутов железнодорожного и автомобильного транспорта на участке Минск — Осиповичи, разработанных на основе анализа интегрального показателя дублируемости, существующего пассажиропотока и коэффициента использования вместимости железнодорожного подвижного состава и автомобильных транспортных средств, а также с учетом матрицы рекомендаций по уровням дублирования (см. табл. 2), предлагаются следующие мероприятия:

1. Железнодорожный маршрут Минск — Руденск и автомобильный маршрут 476С Минск — АС Марьино Горка с высоким интегральным показателем дублируемости, средним уровнем пассажиропотока и средним уровнем коэффициента использования вместимости транспортных средств. На участке рекомендуется сократить частоту движения железнодорожного маршрута на 20–30 % (например, с 10 до 7 рейсов в сутки), сохраняя рейсы в пиковые часы, перераспределить часть пассажиров на автомобильный маршрут, при необходимости увеличив вместимость автобусов, что позволит снизить интегральный показатель дублируемости до уровня ниже 1,0, оптимизируя затраты и сохраняя качество обслуживания.

2. Железнодорожный маршрут Минск — Пуховичи и автомобильный маршрут 475Э Минск — АС Марьино Горка с низким интегральным показателем дублируемости, средним пассажиропотоком и низким (на железнодорожном маршруте)/средним (на автомобильном маршруте) уровнем коэффициента использования вместимости транспортных средств. Рекомендуется рассмотреть сокращение частоты движения на 10–15 % для обоих маршрутов или объединение рейсов в периоды низкого спроса, что снизит эксплуатационные затраты, сохраняя необходимый уровень транспортной доступности.

3. Железнодорожный маршрут Минск — Осиповичи и автомобильный маршрут 7603-ТК Минск — Осиповичи со средним интегральным показателем дублируемости, высоким пассажиропотоком и низким

(на железнодорожном маршруте)/средним (на автомобильном маршруте) уровнем коэффициента использования вместимости транспортных средств. Рекомендуется сохранить текущую частоту движения автомобильных транспортных средств на маршруте, незначительно сократив частоту движения на железнодорожном маршруте в межпиковые периоды, так как высокий пассажиропоток и коэффициент использования вместимости транспортных средств оправдывают существующее дублирование, оптимизировать расписание, устранив пересечения рейсов железнодорожного и автомобильного транспорта с интервалом менее 30 минут, осуществлять мониторинг пиковых часов для предотвращения перегрузки и рассмотреть интеграцию тарифных систем для удобства пересадок.

На участке Осиповичи — Гродзянка диапазон значений интегрального показателя дублируемости (от 0,55 до 5,52) указывает на более выраженную конкуренцию между видами транспорта, что сопровождается перерасходом эксплуатационных ресурсов. Целесообразно рассмотреть сокращение числа рейсов железнодорожного транспорта на 40–50 % (либо их отмену) с одновременным перераспределением пассажиропотоков на автомобильные маршруты, что позволит увеличить использование вместимости автомобильного транспорта, снизить эксплуатационные затраты и сбалансировать транспортную систему, особенно в периоды максимального пассажиропотока, обеспечив гибкость и экономическую эффективность.

Обсуждение. Результаты работы показали, что для маршрутов с высоким уровнем дублирования ($D \geq 1,0$) и низкой загрузкой (K_z менее 0,40) целесообразно сокращение частоты движения транспорта с меньшей заполняемостью, чтобы минимизировать эксплуатационные затраты. Так, в случае маршрутов Минск — Руденск и 476С Минск — АС Марьино Горка, железнодорожный маршрут демонстрирует более низкую заполняемость при сопоставимом пассажиропотоке для различных видов транспорта. Сокращение частоты железнодорожных рейсов на 20–30 % позволяет устранить избыточное предложение транспортных услуг, сохраняя рейсы в пиковые часы. Одновременно увеличение вместимости автобусов на автомобильном маршруте компенсирует перераспределение пассажиропотоков, так как автобусы обладают большей гибкостью в организации рейсов и меньшими эксплуатационными затратами на данном направлении. Обратный подход (сокращение автобусных рейсов и увеличение железнодорожных) менее эффективен при низком и среднем пассажиропотоке, так как железнодорожный транспорт имеет более высокие фиксированные затраты и меньшую адаптивность к колебаниям спроса. Для маршрутов с низким уровнем дублирования и высокой загрузкой рекомендуется сохранение текущей

частоты движения или ее незначительная корректировка, чтобы поддерживать транспортную доступность.

Обсуждение полученных результатов подчеркивает необходимость дифференцированного подхода к управлению маршрутной сетью. Оптимизация должна учитывать как количественные показатели дублируемости, так и качественные аспекты, такие как удобство для пассажиров и рациональное использование инфраструктуры. Предложенные меры, включая корректировку расписаний и перераспределение пассажиропотоков, направлены на снижение эксплуатационных затрат и повышение устойчивости транспортной системы.

Заключение. Исследование дублируемости маршрутной сети на полигоне транспортного обслуживания пассажиров Минск — Осиповичи, охватывающем г. Минск, Минскую и Могилевскую области, выявило ключевые особенности взаимодействия железнодорожного и автомобильного транспорта в условиях региональных и пригородных перевозок.

Разработанная методика расчета показателей дублируемости, основанная на коэффициенте пересечения маршрутов и интегральном показателе D , позволила провести объективную количественную оценку степени пересечения маршрутов и выявить участки с избыточным дублированием. На участке Минск — Осиповичи коэффициент дублируемости равен 1, а значения D варьируются от 0,01 до 1,04, что свидетельствует о преимущественно взаимодополняющем характере функционирования видов транспорта, за исключением отдельных маршрутов, таких как Минск — Руденск, где наблюдается потенциальная избыточность. На участке Осиповичи — Гродзянка значения D находятся в диапазоне от 0,55 до 5,52 и указывают на более выраженную конкуренцию, сопровождаемую неравномерным использованием вместимости транспортных средств.

Анализ пассажиропотоков и коэффициентов использования вместимости транспортных средств подтвердил, что дублирование маршрутов создает как возможности для повышения транспортной доступности, так и вызовы в виде нерационального использования ресурсов. Предложенные оптимизационные меры, в том числе сокращение частоты железнодорожных рейсов на 20–50 % на отдельных направлениях и перераспределение пассажиропотоков на автомобильный транспорт, направлены на устранение избыточного дублирования, снижение эксплуатационных затрат и повышение эффективности распределения ресурсов. Эти меры учитывают различия в гибкости и экономических характеристиках видов транспорта, что обеспечивает сбалансированный подход к управлению маршрутной сетью.

Полученные результаты подчеркивают значимость комплексного подхода к анализу дублируемости для региональных транспортных систем. Разработанная

методика доказала свою применимость для выявления проблемных участков сети и обоснования управленческих решений, способствующих повышению эффективности инфраструктуры.

Благодарности: автор выражает благодарность научному руководителю Александру Александровичу Ерофееву и рецензентам за полезные замечания, способствовавшие улучшению статьи.

Acknowledgments: the author expresses gratitude to the scientific advisor Alexander A. Erofeev and to the reviewers for useful comments that contributed to the improvement of the article.

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов и не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Енин Д. В. Подходы к определению уровня дублирования маршрутов регулярных перевозок // Мир транспорта. 2021. Т. 19, № 1 (92). С. 210–228. EDN: <https://www.elibrary.ru/fgywzx>.
2. Енин Д. В. Approaches to Determining the Regular Transit Route Duplication Level. *World of Transport and Transportation*. 2021;19(1):210–228. (In Russ.). EDN: <https://www.elibrary.ru/fgywzx>.
3. Касаткина Е. В., Вавилова Д. Д. Анализ данных системы городского общественного транспорта для решения проблемы дублируемости маршрутов // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. 2022. № 1. С. 66–78. EDN: <https://www.elibrary.ru/oxcmqo>.
4. Kasatkina E. V., Vavilova D. D. Data analysis of public urban transport system to solve the problem of route duplication. *Proceedings of VSY. Series: systems analysis and information technologies*. 2022;(1):66–78. (In Russ.). EDN: <https://www.elibrary.ru/oxcmqo>.
5. Мельников М. С., Соболев Д. Ю. Обзор российского опыта по организации планирования развития городской маршрутной сети // Экономика, предпринимательство и право. 2021. Т. 11, № 2. С. 415–430. EDN: <https://www.elibrary.ru/rxxdggf>.
6. Melnikov M. S., Sobolev D. Yu. Review of Russian experience on the organization of planning the development of the urban route network. *Journal of Economics, Entrepreneurship and Law*. 2021;11(2):415–430. (In Russ.). EDN: <https://www.elibrary.ru/rxxdggf>.
7. Dixit M., Cats O., Brands T., van Oort N., Hoogendoorn S. Perception of overlap in multi-modal urban transit route choice. *Transport-metrica A: Transport Science*. 2023;19(2):2005180. <https://doi.org/10.1080/23249935.2021.2005180>.
8. Bie Y., Tang R., Wang L. Bus Scheduling of Overlapping Routes With Multi-Vehicle Types Based on Passenger OD Data. *IEEE Access*. 2020;(8):1406–1415. <https://doi.org/10.1109/access.2019.2961930>.
9. Suzuki Y., Hino S., Kanno T., Amemiya D. A study on the possibility of a BUS route network with connections based on an analysis of the efficiency of the bus route network and resistance of bus users to transfer. *Research in Transportation Economics*. 2023;102:101357. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2023.101357>.
10. Bast H., Delling D., Goldberg A., Müller-Hannemann M., Pajor T., Sanders P., Wagner D., Werneck R. Route Planning in Transportation Networks. In: *Algorithm Engineering. Lecture Notes in Computer Science*. 2016;9220:19–80. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-49487-6_2.
11. Georgiadis G., Papaioannou P., Politis I. Rail and road public transport: Cooperation or coexistence? *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*. 2020;5:100122. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100122>.

9. Ерофеев А. А., Килочицкая М. А. Комплексное транспортное обслуживание пассажиров // Железнодорожный транспорт. 2024. № 10. С. 40–44. EDN: <https://www.elibrary.ru/aotram>.

Erofeev A. A., Kilochitskaya M. A. Comprehensive passenger transport services. *Railway Transport*. 2024;(10):40–44. (In Russ.). EDN: <https://www.elibrary.ru/aotram>.

10. Килочицкая М. А. Разработка системы планирования комплексного транспортного обслуживания пассажиров // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: наука и транспорт. 2024. № 2 (49). С. 63–66. EDN: <https://elibrary.ru/lnisir>.

Kilochitskaya M. A. Development of a comprehensive passenger transport service planning system. *Bulletin of BSUT: science and transport*. 2024;2(49):63–66. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/lnisir>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Марина Анатольевна КИЛОЧИЦКАЯ,
младший научный сотрудник, научно-исследовательская лаборатория «Управление перевозочным процессом», Белорусский государственный университет транспорта (БелГУТ, 246653, Республика Беларусь, г. Гомель, ул. Кирова, д. 34), AuthorID: 1228032, <https://orcid.org/0009-0007-6658-2380>

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Marina A. KILOCHITSKAYA,
Junior Researcher, Management of the Transportation Process Research Laboratory, Belarusian State University of Transport (246653, Republic of Belarus, Gomel, Kirova St., 34), AuthorID: 1228032, <https://orcid.org/0009-0007-6658-2380>

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

The author has read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 28.03.2025, рецензия от первого рецензента получена 07.04.2025, рецензия от второго рецензента получена 11.04.2025, рецензия от третьего рецензента получена 14.04.2025, рецензия от четвертого рецензента получена 05.05.2025, принята к публикации 20.05.2025.

The article was submitted 28.03.2025, first review received 07.04.2025, second review received 11.04.2025, third review received 14.04.2025, fourth review received 05.05.2025, accepted for publication 20.05.2025.