

Научная статья
УДК 656.13
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-3-396-411>
EDN: FIDYXY



СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАБОТЫ ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА РЕГУЛЯРНОГО СООБЩЕНИЯ

С.А. Аземша

Белорусский государственный университет транспорта,
г. Гомель, Республика Беларусь
s-azemsha@yandex.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. Степень использования вместимости пассажирских транспортных средств влияет на экономическую составляющую работы городского пассажирского транспорта регулярного сообщения, поскольку определяется количеством перевозимых пассажиров и величиной вместимости используемого пассажирского транспортного средства. Это обусловлено тем, что величина пассажиропотока оказывает влияние на выручку от перевозки, а вместимость пассажирского транспортного средства – на себестоимость перевозки. Одной из задач, сформулированной в программно-целевых документах Республики Беларусь, является выход на полную самоокупаемость работы городского пассажирского транспорта регулярного сообщения. Решить такую задачу можно максимизацией степени использования вместимости, установленной производителем пассажирского транспортного средства.

Цель работы – оценить степень использования вместимости пассажирских транспортных средств и динамику ее изменения, а также разработать мероприятия по повышению эффективности работы городского пассажирского транспорта регулярного сообщения.

Материалы и методы. При написании статьи использовались данные, полученные натурным обследованием пассажиропотоков в одном из городов Республики Беларусь, проведенные в 2019 и в 2024 гг., применялись статистические методы (описательная статистика, подгонка, визуализация, оценка значимости различий при помощи статистических критериев), анализ научной литературы и технологии работы пассажирского транспорта, синтез предложений.

Выводы. Показана невысокая степень использования вместимости пассажирских транспортных средств. Предложена новая технология организации работы городского пассажирского транспорта регулярного сообщения, позволяющая повысить применение вместимости пассажирских транспортных средств и за счет этого эффективность выполняемой им работы.

Возможность последующего использования результатов научной работы. Полученные результаты обосновывают необходимость разработки научного инструментария для оптимизации закрепления пассажирских транспортных средств за рейсами с учетом пассажиронапряженности на них и ее колебания и других ограничений.

Практическое значение. Данная статья показывает необходимость разработки мер по повышению использования вместимости пассажирских транспортных средств.

Оригинальность. В данной работе показано изменение степени применения вместимости пассажирских транспортных средств за период времени, прошедший между проведением обследований, установлены факторы, влияющие на такую степень использования, предложена новая технология организации работы городского пассажирского транспорта регулярного сообщения. Статья будет полезна для должностных лиц органов управления, ответственных за организацию работы городского пассажирского транспорта регулярного сообщения, а также работников предприятий городского пассажирского транспорта, ученых транспортной отрасли.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: пассажирское транспортное средство, городской пассажирский транспорт регулярного сообщения, вместимость, пассажиронапряженность, коэффициент пассажиронапряженности, технология перевозок

Статья поступила в редакцию 16.03.2024; одобрена после рецензирования 27.05.2024; принята к публикации 04.06.2024.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

© Аземша С.А., 2024



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Прозрачность финансовой деятельности: автор не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Аземша С.А. Совершенствование технологии работы городского пассажирского транспорта регулярного сообщения // Вестник СибАДИ. 2024. Т. 21, № 3. С. 396-411. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-3-396-411>

Origin article

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-3-396-411>

EDN: FIDYXY

TECHNOLOGY OF REGULAR URBAN PASSENGER TRANSPORTATION OPERATION IMPROVEMENT

Sergei A. Azemsha

Belarusian State University of Transport,
Gomel, Republic of Belarus
s-azemsha@yandex.ru

ABSTRACT

Introduction. The degree of passenger vehicle capacity utilisation affects the economic component of regular urban passenger transport operation, as it depends on the number of passengers transported, which affects the revenue from transportation, as well as on the passenger vehicle capacity, which affects the cost of transportation. One of the tasks formulated in the programme-target documents of the Republic of Belarus is to achieve full self-sufficiency of urban regular passenger transport. One of the ways to ensure this can be maximising the degree of capacity utilisation set by the manufacturer of the passenger vehicle.

The aim of the paper is to estimate the degree of passenger vehicle capacity utilisation and dynamics of its change, as well as to develop measures to improve the efficiency of urban regular passenger transport.

Materials and methods. When writing the article, the data obtained by a full-scale survey of passenger flows in one of the cities of the Republic of Belarus, conducted in 2019 and in 2024, were used. When writing the article, statistical methods (descriptive statistics, fitting, visualisation, assessment of significance of differences using statistical criteria), analysis of scientific literature and work technology, synthesis of proposals were used.

Conclusions. The low degree of utilisation of passenger vehicle capacity is shown. The new technology of the organisation of work of the city passenger transport of regular communication, allowing to increase use of capacity of passenger vehicles and, at the expense of this efficiency of such work is offered.

The possibility of further use of the results of scientific work. The received results substantiate necessity of development of scientific toolkit for optimisation of assignment of passenger vehicles to flights taking into account passenger load on them and other restrictions.

Practical significance. This article shows the need to develop measures to improve the efficiency of passenger vehicle capacity utilisation for the purposes of increasing the efficiency of urban regular passenger transport.

Originality. This paper shows the change in the degree of use of passenger vehicle capacity, shows the factors affecting it, and proposes a new technology for organising the work of urban regular passenger transport. The article will be useful for officials of the management bodies responsible for the organisation of the work of urban passenger transport of regular communication, as well as employees of the enterprises of urban passenger transport, transport scientists.

KEYWORDS: passenger vehicle, regular urban passenger transport, capacity, passenger load, passenger load factor, passenger load factor, transportation technology

The article was submitted 16.03.2024; approved after reviewing 27.05.2024; accepted for publication 04.06.2024.

Author have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation. Azemsha S.A. Technology of regular urban passenger transportation operation improvement. The Russian Automobile and Highway Industry Journal. 2024; 21 (3): 396-411. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-3-396-411>

© Azemsha S.A., 2024



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Городской пассажирский транспорт регулярного сообщения (ГПТРС) играет огромную роль в жизни современных городов. Это обусловлено тем, что значительная доля передвижений в городах совершается при помощи ГПТРС [1, 2], влиянием ГПТРС на жизнь городов [3, 4, 5], экономику [6, 7, 8], экологию [9, 10, 11], безопасность дорожного движения^{1,2} [12], здоровье населения [13, 14, 15], устойчивое развитие^{3,4} [16].

В то же время окупаемость работы ГПТРС невысока и составляет для условий Республики Беларусь порядка 70% [17]. Вместе с тем в Беларуси к концу 2025 г. стоит задача обеспечить окупаемость перевозок собственными доходами транспортных организаций⁵.

Хорошо описанными в научной литературе способами повышения окупаемости работы ГПТРС являются:

- оптимизация структуры парка пассажирских транспортных средств [18, 19, 20];
- внедрение методов транспортного планирования в градостроительную политику [21, 22];
- оптимизация маршрутной сети ГПТРС [23];
- распределение автобусного парка по маршрутам [20, 24, 25].

На практике же в настоящее время снижение затрат достигается путем сокращения числа выполняемых рейсов, сокращением числа маршрутов, что негативным образом сказывается на качестве предоставляемых ГПТРС услуг и ведет к оттоку пассажиропотока и росту интенсивности использования личного транспорта.

Вместе с тем показано наличие связи между наполняемостью пассажирских транспортных средств (ПТС) и окупаемостью их работы [26], что обуславливает целесообразность повышения степени использования вместимости

ПТС для достижения поставленной задачи выхода на самоокупаемость работы ГПТРС.

Вопросы оценки эффективности использования вместимости ПТС отражены во многих научных трудах. Так, в работе [27] авторы установили, что в отношении наполняемости на многих маршрутах действует закон Паретто – на протяжении 80% пути маршрута используется только 20% вместимости автобусов. В работе [28] подчеркнута, что уровень загруженности автобусов сильно различается между государствами Европейского Союза. Например, в Великобритании автобус перевозит в среднем около 9 человек, в то время как во Франции этот показатель составляет около 25. Различия между государствами авторы объясняют различной организацией работы ГПТРС, а также формой собственности. Аналогичные исследования с такими же выводами были проведены и в США⁶. В них также отмечается низкая эффективность использования вместимости пассажирских транспортных средств.

Для условий Республики Беларусь установлено, что уровень использования вместимости ПТС невысок, и определяется коэффициентом пассажиронапряженности, значения которого составляет в среднем 30% [29]. Также показано, что существует значимая неравномерность использования вместимости ПТС по маршрутам, часам суток на маршруте и на некоторых маршрутах по направлениям движения.

В данной статье приведены результаты исследований пассажиропотоков в г. Мозыре, полученных по данным натурных наблюдений, проведенных в 2019 и 2024 гг. На их основе рассчитывается показатель, оценивающий степень использования вместимости ПТС, показываются факторы его определяющие, устанавливаются сложившиеся тенденции его изменения. На основании расчетов формулируется предложение по повышению эффективности работы ГПТРС.

¹ WHO, 2018. Global Status Report on Road Safety 2018. Geneva. <https://doi.org/10.1037//0033-2909.126.1.78>

² APTA, 2016. The Hidden Traffic Safety Solution: Public Transportation

³ Sustainable Mobility for All // Электронный ресурс. Режим доступа: <https://www.sum4all.org/publications/global-mobility-report-2017> (дата обращения: 11.09.2018).

⁴ Key world energy statistics // сайт IEA. Режим доступа: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2016.pdf>. (дата обращения: 12.10.2020).

⁵ О Государственной программе «Транспортный комплекс» на 2021–2025 годы [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 23 марта 2021 г., № 165 (в ред. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 29 декабря 2023 г. № 1001) // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь, Минск, 2024.

⁶ Average Vehicle Occupancy Factors for Computing Travel Time. Режим доступа: https://www.fhwa.dot.gov/tpm/guidance/avo_factors.pdf. (дата обращения: 11.09.2018)

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

При написании статьи использовались данные, полученные натурным обследованием пассажиропотоков в одном из городов Республики Беларусь – г. Мозыре. Такие обследования были проведены в 2019 и в 2024 гг. В общем, за сутки в 2019 г. выполнялось 1276 рейсов за день, а в 2024 – 909. Кроме того, на 2019 г. маршрутная сеть была представлена 22 маршрутами, а в 2024 – 17. За 5 лет количество маршрутов уменьшилось на 5 (23%), а количество выполняемых рейсов на 367 (29%). Все это отражает существующий в данное время на практике подход к снижению затрат на функционирование ГПТРС и является причиной роста автомобилизации со всеми ее негативными проявлениями.

Обследование пассажиропотоков проводилось учетчиками, находящимися в салоне ПТС. Указанные лица были обеспечены бланками для записей, в которые они вносили время начала и окончаний рейса, начальный и конечный пункт, марку автобуса и количество вошедших и вышедших пассажиров на каждой остановке. По полученным таким образом данным было определено значение пассажиронапряженности во время выполнения каждого рейса – максимальное количество пасса-

жиров, находящихся в салоне ПТС за время выполнения рейса, а также коэффициент пассажиронапряженности – отношение пассажиронапряженности за рейс к вместимости ПТС, выполняющего данный рейс. Всего было обследовано 659 (51,6%) рейсов в 2019 г. и 781 (85,9%) рейс в 2024 г. Таким образом, исследуемый набор данных состоит из двух выборок значений пассажиронапряженности: первая – для 2019 г., а вторая – для 2024. Фрагмент такой выборки представлен в таблице 1.

К полученным выборкам значений пассажиронапряженностей применен следующий статистический инструментарий, реализованный в пакете прикладных программ⁷:

1. Описательная статистика: среднее, медиана, минимум, максимум, стандартное отклонение, асимметрия, стандартная ошибка асимметрии, эксцесс, стандартная ошибка эксцесса.

2. Визуализация данных: диаграммы размаха, гистограммы распределения (в том числе совмещенные для двух случайных величин).

3. Определение законов распределения случайных величин при помощи:

– оценки соотношений асимметрия / стандартная ошибка асимметрии и эксцесс / стандартная ошибка эксцесса;

Таблица 1

Фрагмент полученной таблицы исходных данных
Источник: составлено автором.

Table 1

Fragment of the obtained table of initial data
Source: compiled by the author.

№ маршрута	Длина маршрута, км	Порядковый номер автобуса	Начальный пункт	Конечный пункт	Автобус	Начало рейса	Конец рейса	Пассажиронапряженность, пасс
8	16,8	11	АВ «Мозырь»	5-й микрорайон	МАЗ 103	19:42	20:32	20
14	9,6	20	АВ «Мозырь»	пл. Ленина	МАЗ 103	5:54	6:29	41
14	13,2	20	пл. Ленина	АВ «Мозырь»	МАЗ 103	6:31	7:11	50
14	9,6	20	АВ «Мозырь»	пл. Ленина	МАЗ 103	7:22	7:57	40
14	13,2	20	пл. Ленина	АВ «Мозырь»	МАЗ 103	7:59	8:39	49

⁷ Statistica 13.3. Computer program. Serial number JRR709H998119TE-A

– анализа гистограмм распределения частот исследуемых величин, их нормально-вероятностных графиков и ящичных диаграмм размаха;

– р-значений критериев Колмогорова–Смирнова, Андерсон–Дарлинга и Хи-квадрат.

4. Сравнение значимости различий в выборках при помощи:

– критериев Вальда–Вольфовица, Колмогорова–Смирнова и U теста Манна–Уитни – при сравнении двух независимых выборок;

– дисперсионного анализа Краскела–Уоллеса, медианного теста, сравнения средних рангов для всех групп – при сравнении нескольких независимых выборок.

Дальнейший анализ результатов применения такого статистического инструментария, существующей технологии работы ГПТРС и научной литературы по профилю данной публикации, позволил синтезировать предложение по повышению эффективности функционирования ГПТРС.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Основные статистические характеристики пассажиронапряженности приведены в таблице 2.

Из таблицы 2 видно, что все приведенные в ней статистические показатели (кроме стандартного отклонения) пассажиронапряженности в 2024 г. снизились по отношению к значению этого показателя в 2019 г. Оценка соотношений асимметрия / стандартная ошибка асимметрии и эксцесс / стандартная ошибка эксцесса показывает, что распределение исследуемых случайных величин отлично от нормального закона. Для оценки нормальности распределения также были проанализированы гистограммы распределения частот исследуемых величин, их нормально-вероятностные графики и ящичные диаграммы размаха. Все проведенные тесты показали, что распределение исследуемых величин отлично от нормального.

Результаты подгонки распределения при помощи р-значений критерия Колмогорова–Смирнова, Андерсон–Дарлинга и Хи-квадрат показали, что исследуемые случайные величины распределены по обобщенному распределению экстремальных значений, что также согласуется с полученными ранее данными.

Результаты расчета средних значений коэффициента пассажиронапряженности в г. Мозыре ($\overline{Kл}$), а также их предельной абсолютной ошибки (ε) приведены в таблице 3.

Таблица 2
Статистические характеристики значений пассажиронапряженности
Источник: составлено автором.

Table 2
Statistical characteristics of passenger load values
Source: compiled by the author.

Год	N набл.	Среднее	Медиан	Минимум	Максимум	Стандартное отклонение	Асимметрия	Стандартная ошибка асимметрии	Эксцесс	Стандартная ошибка эксцесса
2019	659	0,277	0,24	0,0095	1,18	0,177	1,57	0,095	3,591	0,190
2024	781	0,2706	0,212	0,00	1,057	0,219	1,54	0,088	2,369	0,175

Таблица 3
Сравнение средних значений пассажиронапряженности по годам обследований
Источник: составлено автором.

Table 3
Comparison of average values of passenger load by survey years
Source: compiled by the author.

Год обследования	Объем выборки, рейсов		ε
2019	659	0,278	0,017
2024	781	0,271	0,017

Была выдвинута гипотеза о наличии значимых различий в коэффициенте пассажиронапряженности по годам. Соответствующая диаграмма размаха приведена на рисунке 1.

Для оценки значимости различий в двух выборках значений коэффициентов пассажиронапряженности использовались непараметрические критерии оценки значимости различий в двух независимых выборках (критерий Вальда-Вольфовица, Колмогорова-Смирнова и U тест Манна-Уитни). Результаты их расчета позволяют сделать вывод о значимости различий в средних значениях анализируемых показателей, т.е. значения коэффициента пассажиронапряженности в г. Мозыре в 2019 и 2024 гг. сильно отличаются друг от друга.

Также была выдвинута гипотеза о наличии значимых различий значений коэффициента пассажиронапряженности в г. Мозыре по маршрутам (рисунок 2) и по времени суток (рисунок 3).

При оценке значимости различий коэффициентов пассажиронапряженности по маршрутам и по времени суток использовались дисперсионный анализ Краскела-Уоллеса, медианный тест, сравнение средних рангов для всех групп. При оценке значимости различий по направлениям движения на каждом маршруте использовались тест Вальда-Вольфовица, Колмогорова-Смирнова, U-тест Мана-Уитни.

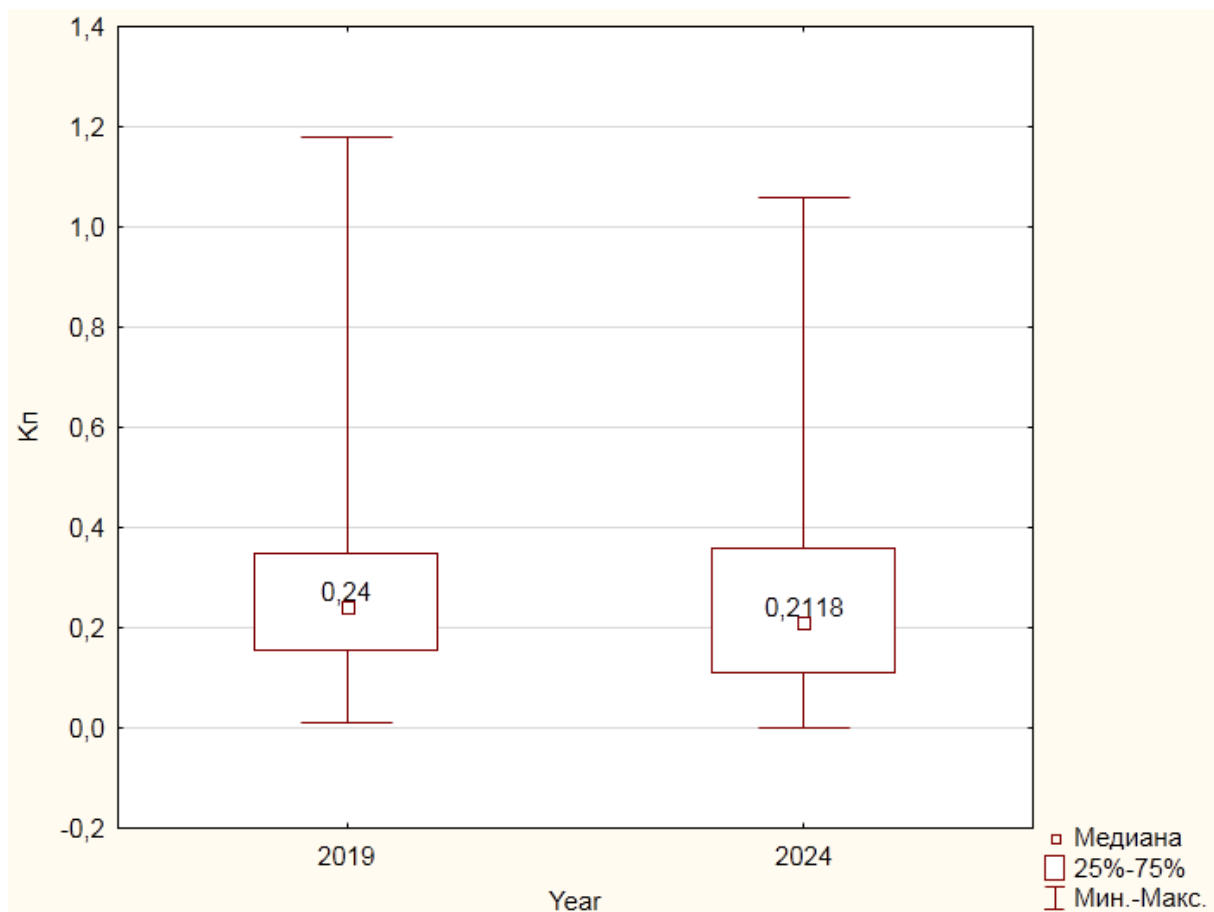
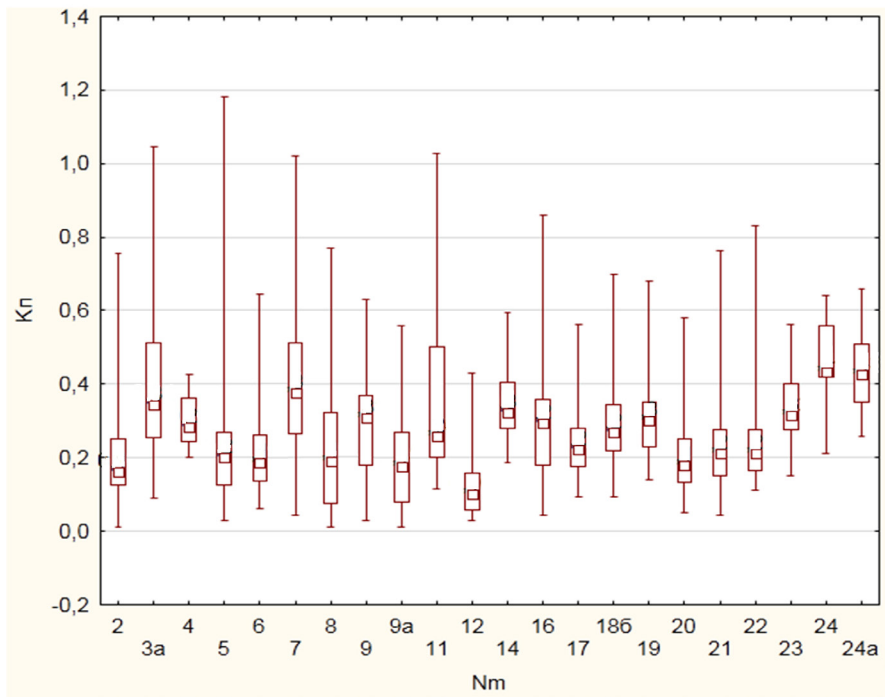
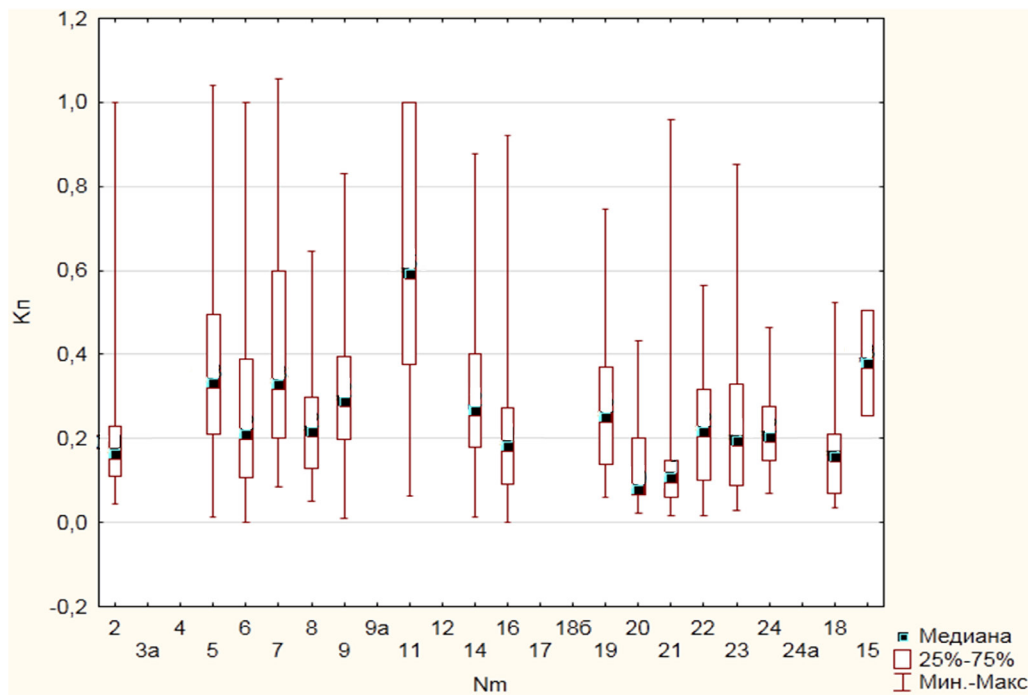


Рисунок 1 – Диаграмма размаха значений коэффициента пассажиронапряженности по годам
Источник: составлено автором.

Figure 1 – Diagram of the range of passenger load factor values by years
Source: compiled by the author.



а



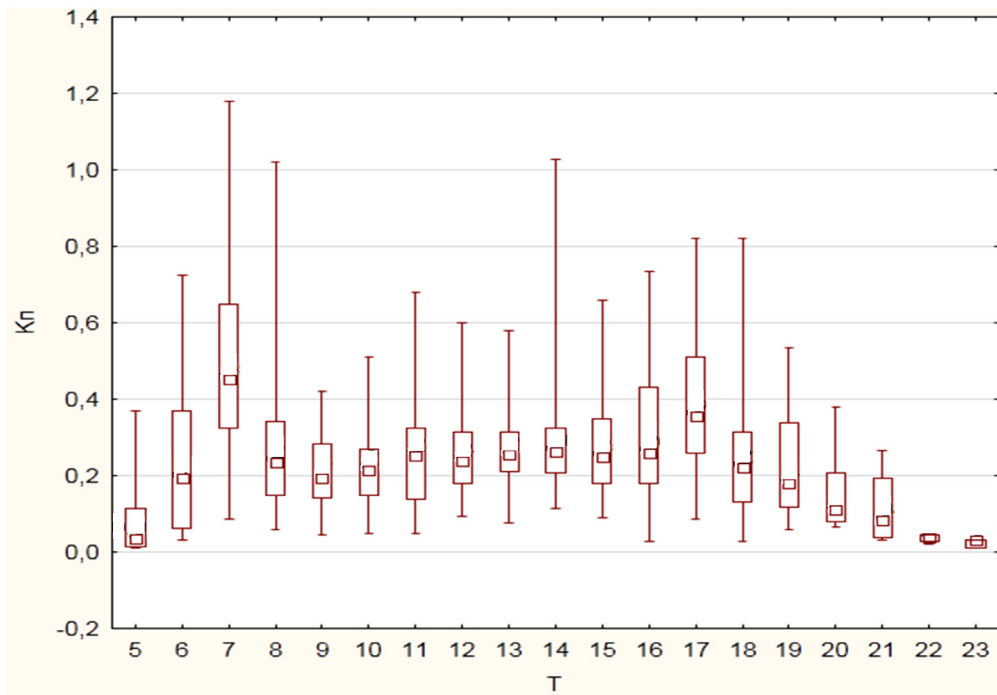
б

Рисунок 2 – Коэффициент пассажиронапряженности по маршрутам работы:
а – 2019 г.; б – 2024 г.

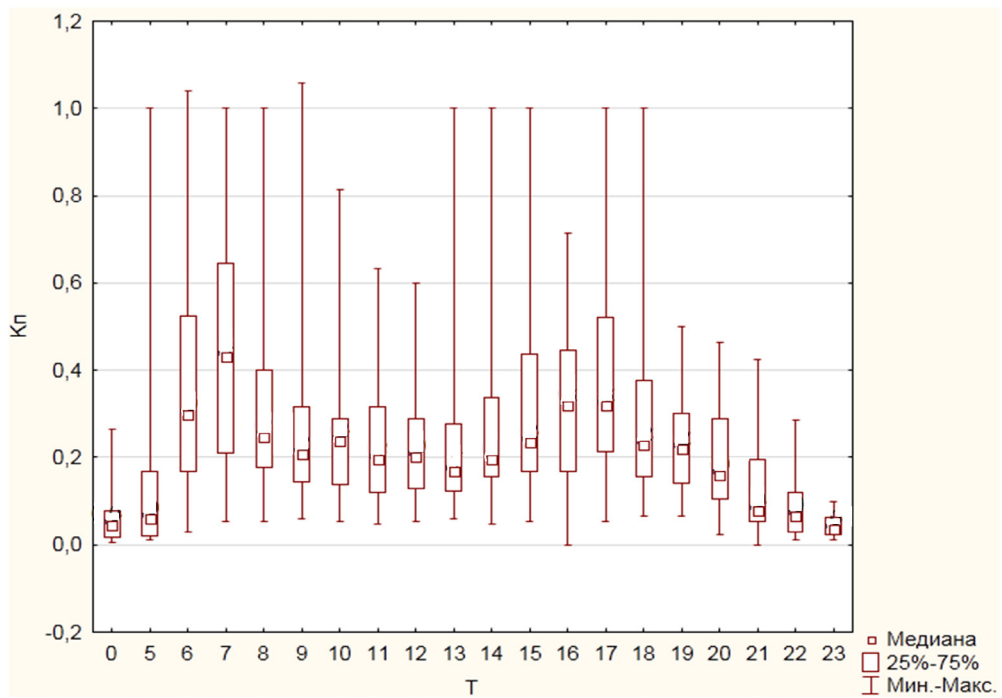
Источник: составлено автором.

Figure 2 – Passenger load factor by route of operation:
a – 2019; b – 2024

Source: compiled by the author.



а



б

Рисунок 3 – Коэффициент пассажиронапряженности по часам суток:
а – 2019 г.; б – 2024 г.
Источник: составлено автором.

Figure 3 – Passenger load factor by hour of the day:
a – 2019; b – 2024
Source: compiled by the author.

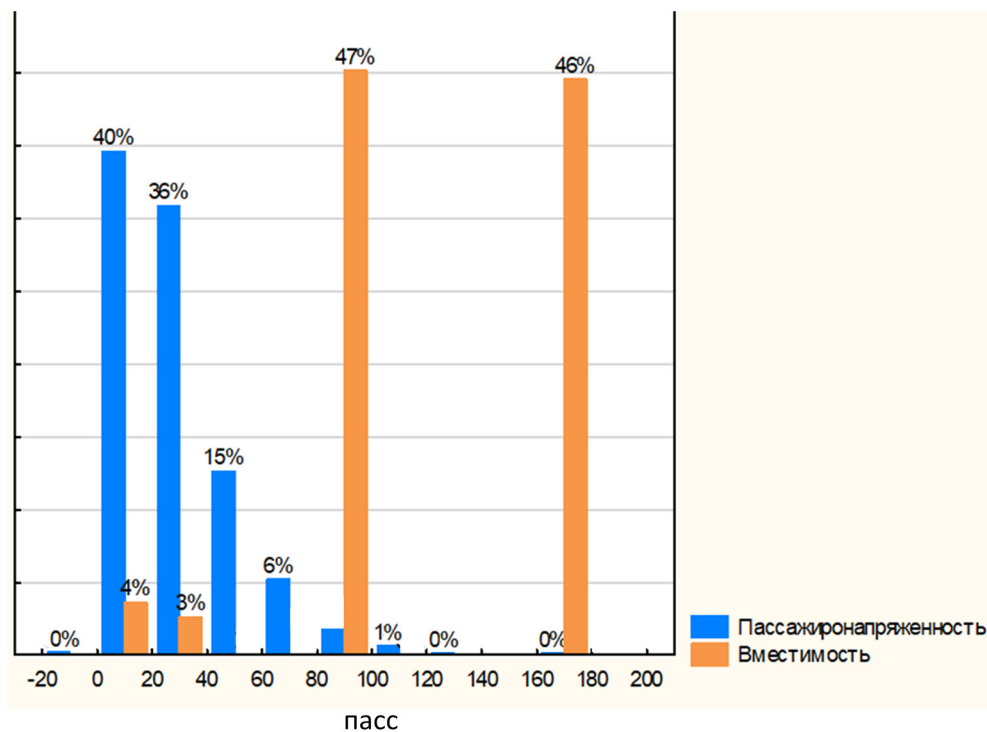


Рисунок 4 – Гистограмма распределения пассажиронапряженности и вместимости автобусов по рейсам
 Источник: составлено автором.

Figure 4 – Histogram of distribution by trips of passenger load and bus capacity
 Source: compiled by the author.

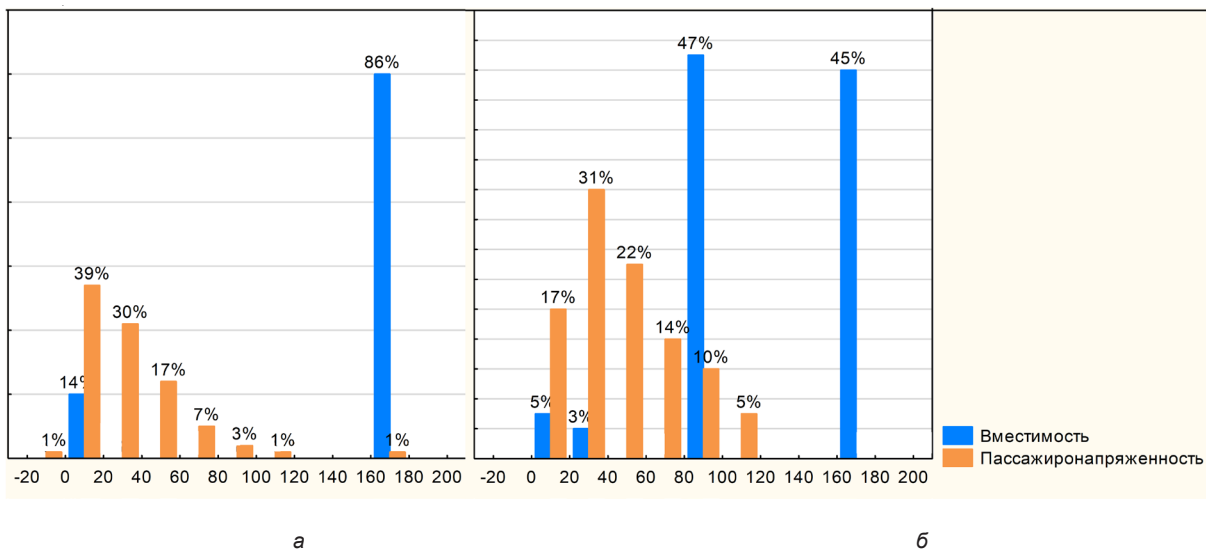


Рисунок 5 – Распределение вместимости и пассажиронапряженности:
 а – на маршруте № 6 за сутки; б – с 7:00 до 8:00 на всех маршрутах
 Источник: составлено автором.

Figure 5 – Distribution of capacity and passenger load:
 а – on route No. 6 per day; б – from 7:00 to 8:00 on all routes
 Source: compiled by the author.

Результаты расчетов показывают, что значения коэффициентов пассажиронапряженности значительно отличаются по маршрутам движения и по часам суток.

На рисунке 4 приведена гистограмма распределения пассажиронапряженности и вместимости автобусов по рейсам.

Из рисунка 4 видно, что подавляющее число рейсов выполняется автобусами вместимостью от 80 до 100 пассажиров (47%) и от 160 до 180 пассажиров (46%). В то же время пассажиронапряженность от 80 до 180 пассажиров наблюдается лишь при выполнении 3% рейсов. Подавляющее большинство рейсов (76%) пассажиронапряженность не превышает 40 пассажиров. Вместе с тем доля рейсов, выполняемых автобусами вместимостью до 40 пассажиров, составляет порядка 7%.

На рисунке 5 приведена гистограмма распределения пассажиронапряженности и вместимости автобусов на одном маршруте за все часы суток и за один час суток на всех маршрутах.

Из рисунка 5 видно, что имеется несоответствие (превышение) вместимости работающих автобусов существующей пассажиронапряженности как по маршрутам, так и по часам суток.

Таким образом, анализ рисунков 4 и 5 обуславливает целесообразность проведения закупки автобусов вместимости, соответствующей пассажиронапряженности, а также технологии управления ими, включающей распределение автобусов по рейсам маршрутов с учетом минимизации разницы между их вместимостью и пассажиронапряженностью.

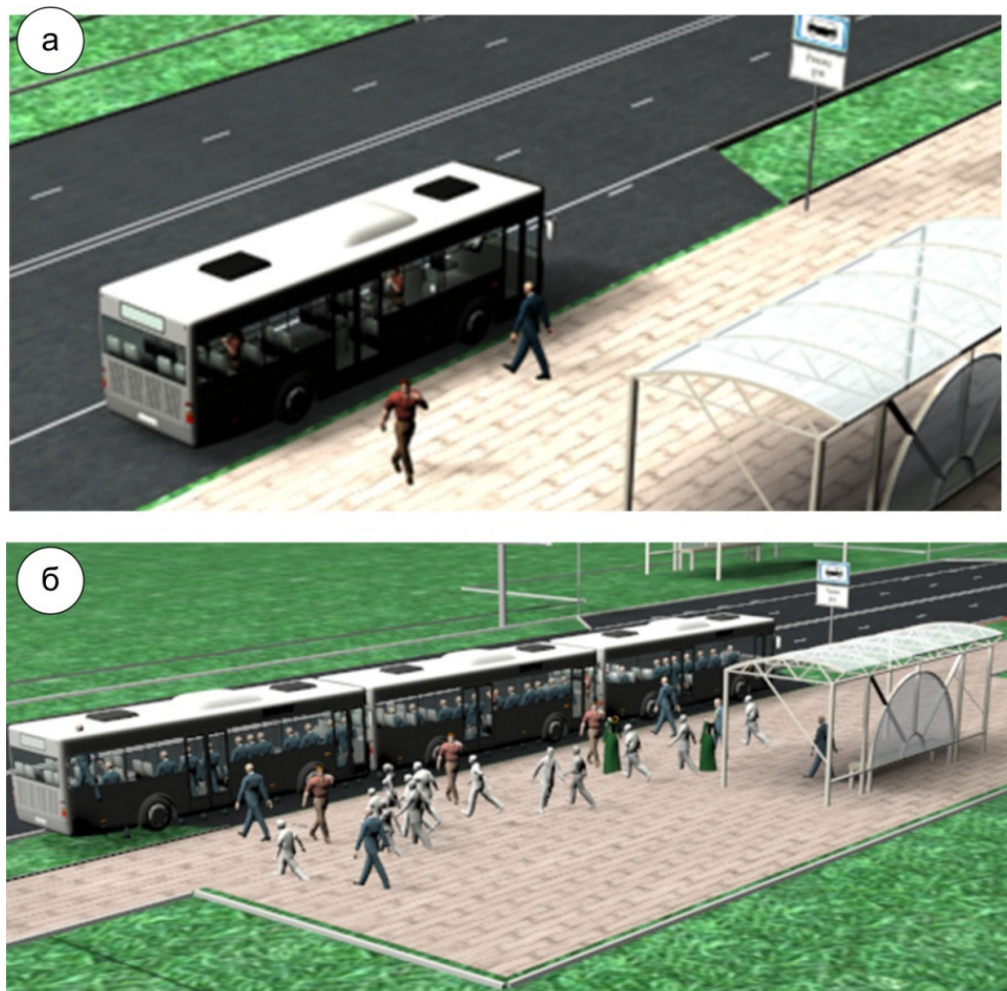


Рисунок 6 – Использование составов модульных ПТС с различным количеством модулей: а – один модуль при спаде пассажиропотока; б – три модуля в период роста пассажиропотока [31]

Figure 6 – Use of trains of modular TCPs with different number of modules: a – one module during passenger traffic decline; b – three modules during passenger traffic growth [31]

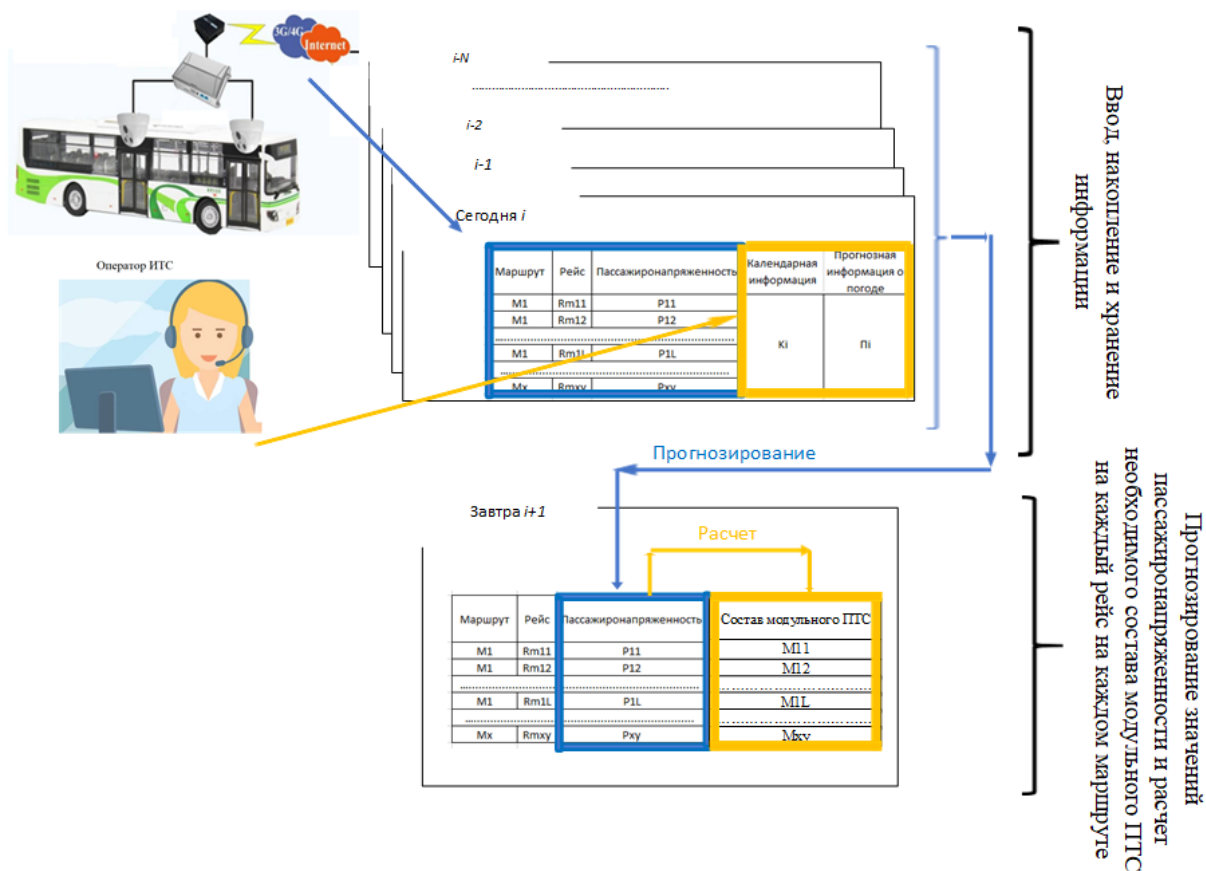


Рисунок 7 – Схема функционирования предлагаемой интеллектуальной системы управления ГПТРС
 Источник: составлено автором.

Figure 7 – Scheme of operation of the proposed intelligent control system for regular urban passenger transport
 Source: compiled by the author.

Следует отметить, что приведенные на рисунках 1, 2, 3, 4, 5 данные получены на основании исследования пассажиропотоков за 1 день. В то же время известно, что объем перевозок, а следовательно, коэффициент пассажиронапряженности, вариативен и зависит от дня недели, месяца года, календарного года, типа дня недели (праздник/выходной), осадков, ветра, температуры воздуха [30]. Это обуславливает необходимость изучения соответствующих зависимостей и накопления определенных данных. Поэтому предложена новая технология организации работы ГПТРС, которая предполагает наличие ретроспективных данных о пассажиронапряженности на каждом рейсе каждого маршрута и факторов,

на него влияющих, а также соответствующие формализованные зависимости, описывающие такое влияние.

На основании таких данных предлагается ежедневно прогнозировать пассажиронапряженность на каждом рейсе каждого маршрута и на этой основе назначать композиции из модулей ПТС (рисунок 6), обеспечивающих максимальное соответствие вместимости и мощности пассажиропотока.

Для реализации предлагаемой технологии организации работы ГПТРС необходимо:

1. Оснастить парк ПТС датчиками подсчета пассажиропотока.
2. Разработать программный продукт, позволяющий:

– по данным подсчета числа входящих и выходящих пассажиров определять пассажиронапряженность по каждому рейсу каждого маршрута;

– хранить информацию о пассажиронапряженности по каждому рейсу каждого маршрута;

– вводить календарную информацию и прогнозные сведения о погоде на каждый последующий день;

– хранить календарную информацию и прогнозные сведения о погоде на каждый последующий день;

– прогнозировать (в том числе методами интеллектуального анализа данных) на каждый последующий день значения пассажиронапряженности по каждому рейсу каждого маршрута на основе анализа имеющейся информации о пассажиронапряженности, календарной информации и прогнозных сведений о погоде;

– на основании прогнозных значений пассажиронапряженности по каждому рейсу каждого маршрута распределять парк пассажирских транспортных средств с учетом минимизации разницы вместимости выполняющего рейс ПТС и пассажиронапряженности на этом рейсе.

Такой подход к организации работы ГПТРС подразумевает использование современных технологий, таких как интеллектуальный анализ данных, машинного обучения, big-data технологий. Общая схема функционирования данной интеллектуальной системы управления ГПТРС представлена на рисунке 7.

Из рисунка 7 видно, что ежедневно информация от датчиков подсчета пассажиров поступает на сервер, где из нее извлекаются сведения о пассажиронапряженности на каждом рейсе каждого маршрута. Сюда же оператор ежедневно заносит календарную

информацию (день недели, его тип, месяц и т.д.), а также прогнозную информацию о погоде на следующий день. На основании массива такой введенной информации ежедневно проводится прогнозирование значений пассажиронапряженности на каждом рейсе каждого маршрута на следующий день. На основании таких прогнозных значений, а также с учетом имеющегося парка модульных ПТС структуры маршрутной транспортной сети производится расчет состава модульного ПТС для работы на каждом рейсе каждого маршрута.

В то же время следует отметить, что на текущий момент производители не имеют в своем арсенале модульных ПТС. Хотя опыт эксплуатации прицепных ПТС был успешно реализован в недалеком прошлом^{8,9,10}.

В настоящее время определенные работы в этом направлении только ведутся^{11,12,13}, но до конечного массового выпуска подобных ПТС далеко. Учитывая важность рассматриваемого вопроса и необходимость повышения эффективности работы ГПТРС, в настоящий момент представляется возможным реализовать приведенную на рисунке 7 интеллектуальную схему управления парком ПТС разной вместимости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведенная работа позволяет сформулировать следующие основные выводы:

1. Значения коэффициента пассажиронапряженности в г. Мозыре распределены по закону «Обобщение экстремальных значений» и составляют 0,278 для 2019 г. и 0,271 для 2024 г. (см. таблицу 3).

2. За рассматриваемый период произошло значимое снижение коэффициента пассажи-

⁸ Веклич В.Ф. Повышение эффективности эксплуатации безрельсового электрического транспорта применением средств диагностирования и управления по системе многих единиц : автореф. дис. ... д-р техн. наук : 05.22.07 / В.Ф. Веклич; Всесоюзный научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта. М., 1990. 38 с.

⁹ Веклич В.Ф. Исследование троллейбусов с управлением по системе многих единиц: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 442 / В.Ф. Веклич; Академия коммунального хозяйства им. К.Д. Памфилова. М., 1969. 25 с.

¹⁰ Веклич В.Ф. Эффективность применения троллейбусов с управлением по системе многих единиц / В.Ф. Веклич; Общество «Знание» Украинской ССР, Киевский дом научно-технической пропаганды. Киев, 1969. 19 с.

¹¹ Busplaner [Электронный ресурс]: ÖPNV: Zehn neue Buszüge für München. Режим доступа: <https://www.busplaner.de/news/busanhaenger-und-buszuege-wie-gepaeckanhaenger-personenanhaenger-und-sonstige-anhaenger-linienverkehr-oeffentlicher-personennahverkehr-oepnv-oepnv-unternehmen-oepnv-zehn-neue-buszuege-fuer-muenchen-8384.html> (дата обращения: 19.12.2023).

¹² Next [Электронный ресурс]: Next scenarios. Режим доступа: <https://www.next-future-mobility.com/copy-of-home-1> (дата обращения: 19.12.2023).

¹³ A research platform for Singapore [Электронный ресурс]: Towards the Ultimate Public Transport System. Режим доступа: <https://www.tum-create.edu.sg/content/towards-ultimate-public-transport-system-0> (дата обращения: 19.12.2023).

ронапряженности на маршрутах г. Мозыря (см. рисунок 1).

3. Установлено значимое изменение коэффициента пассажиронапряженности по маршрутам работы автобусов и по часам суток (см. рисунки 2, 3).

4. Имеется несоответствие вместимости автобусов, выполняющих перевозки рейсовым значениям пассажиронапряженности (см. рисунки 4, 5), что предопределяет низкие значения окупаемости работы ГПТРС.

Предложена новая технология организации работы ГПТРС (см. рисунок 7), подразумевающая: оснащение парка ПТС датчиками подсчета пассажиропотока, разработку программного продукта, позволяющего определять пассажиронапряженность по каждому рейсу каждого маршрута и прогнозировать на каждый последующий день значения пассажиронапряженности по каждому рейсу каждого маршрута, а затем распределять парк ПТС с учетом минимизации разницы вместимости выполняющего рейс ПТС и пассажиронапряженности на этом рейсе.

Дальнейшие направления научных работ целесообразным будет сконцентрировать на разработке и апробации математической модели закрепления имеющегося парка ПТС разной вместимости за рейсами маршрутов с учетом максимизации степени использования вместимости ПТС, соблюдения режимов труда и отдыха и других фактов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Mireia Gascon, Oriol Marquet, Esther Gràcia-Lavedan, Albert Ambròs, Thomas Götschi, Audrey de Nazelle, Luc Int Panis, Regine Gerike, Christian Brand, Evi Dons, Ulf Eriksson, Francesco Iacrossi, Ione Àvila-Palència, Tom Cole-Hunter, Mark J. Nieuwenhuisjen, What explains public transport use? Evidence from seven European cities. *Transport Policy*. 2020. Volume 99. pp. 362–374. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2020.08.009>.

2. Malik F.A., Bell M., Dala L. and Busawon K. Modelling transport emission of an out of town centre to achieve emission reduction targets. 2021 6th International Symposium on Environment-Friendly Energies and Applications (EFEA), Sofia, Bulgaria, 2021, pp. 1–7. DOI: 10.1109/EFEA49713.2021.9406268.

3. Komsta, Henryk, et al. The Role of City Public Transport in Creating the Mobility of Its Residents. *AUTOBUSY – Technika Eksploatacja Systemy Transportowe*. 2019. vol. 20, pp. 393–97. doi:10.24136/atest.2019.073.

4. Komsta, Henryk & Drożdziel, Paweł & Opielak, Marek. The role of city public transport in creating the mobility of its residents. *AUTOBUSY – Technika Eksploatacja Systemy Transportowe*. 2019. 20. pp. 393–397. 10.24136/atest.2019.073.

5. Das S. and Das P. Gupta, Role of Public Transport in Urban Mobility – A Case Study of Kolkata. 2013. Режим доступа: <https://www.researchgate.net/publication/299971852>. (Дата обращения: 24.06.2021).

6. Гринченко А.В., Маршкова М.В. Определение социально-экономической эффективности использования пассажирского транспорта // *T-Comm: Телекоммуникации и транспорт*. 2017. Том 11, № 2. С. 37–40.

7. Chatti, Walid & Soltane, Bassem & Turki, Abalala Impacts of Public Transport Policy on City Size and Welfare. *Networks and Spatial Economics*. 2019. 19. 10.1007/s11067-019-09451-y.

8. Martin P, Rogers CA Industrial location and public infrastructure. 1995. *J Int Econ* 39:335–351.

9. Basagaña X., Triguero-Mas M., Agis, D., Pérez N., Reche C., Alastuey A., et al., 2018. Effect of public transport strikes on air pollution levels in Barcelona (Spain). *Sci. Total Environ*. 610–611, 1076–1082. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.263>.

10. Bauernschuster S., Hener T., Rainer H. When labor disputes bring cities to a standstill: the impact of public transit strikes on traffic, accidents, air pollution, and health. *Am. Econ. J. Econ. Policy*. 2017. 9. 1–37. Available at: <https://doi.org/10.1257/pol.20150414>.

11. Chen Y., Whalley A. Green infrastructure: the effects of urban rail transit on air quality. *Am. Econ. J. Econ. Policy*. 2012. 4, 58–97. Available at: <https://doi.org/10.1257/pol.4.1.58>.

12. Carrigan A., King R., Velasquez J.M., Raifman M., Duduta N., Social, Environmental and Economic Impacts of BRT Systems: Bus Rapid Transit Case Studies From Around the World. *EMBARQ, World Resour. Inst*. 2013.

13. Lichtman-Sadot S., Can public transportation reduce accidents? Evidence from the introduction of late-night buses in Israeli cities. *Reg. Sci. Urban. Econ*. 2019. 74, 99–117. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2018.11.009>.

14. Besser L.M., Dannenberg A.L. Walking to public transit. *Am. J. Prev. Med*. 2005. 29. 273–280. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ampre.2005.06.010>.

15. Chaix B., Kestens Y., Duncan S., Merrien C., Thierry B., Pannier B., et al., Active transportation and public transportation use to achieve physical activity recommendations? A combined GPS, accelerometer, and mobility survey study. *Int. J. Behav. Nutr. Phys. Act*. 2014. 11, 1–11. Available at: <https://doi.org/10.1186/s12966-014-0124-x>.

16. Баринаова Л.Д., Забалканская Л.Э. Роль городского общественного транспорта в достижении целей устойчивого развития Agenda 2030 // *Тенденции развития науки и образования*. 2018. № 43–8. С. 47–52. DOI 10.18411/lj-10-2018-193.

17. Аземша С.А., Капский Д.В. Статистическое исследование окупаемости работы городского пассажирского транспорта регулярного сообщения // *Вестник Полоцкого гос. ун. Серия В. «Промышленность. Прикладные науки»*. 2020. № 11. С. 70–77.

18. Еремин С.В. Оптимизация структуры парка подвижного состава городского пассажирского транспорта в общей многокритериальной постановке // Мир транспорта и технологических машин. 2022. № 1(76). С. 62–68. DOI 10.33979/2073-7432-2022-76-1-62-68. EDN MTNDAW.

19. Жуков А.И. Разработка и апробация методики оптимизации структуры парка автобусов по вместимости в условиях мегаполиса // Международный научно-исследовательский журнал. 2013. № 72(14). С. 25–29. EDN QYRBGP.

20. Жуков А.И. Применение табличного редактора при решении задач распределения автобусов по маршрутам и оптимизации структуры парка на пассажирском автотранспортном предприятии. Грузовое и пассажирское автохозяйство. 2013. № 8. С. 21–25. EDN REZUPN.

21. Еремин С.В. Интегрированное транспортное планирование в условиях перспективного территориального развития города // Мир транспорта и технологических машин. 2021. № 3(74). С. 109–114. DOI 10.33979/2073-7432-2021-74-3-109-114. EDN QVUVBX.

22. Якимов М.Р., Трофименко Ю.В. Транспортное планирование: формирование эффективных транспортных систем крупных городов. 2-е изд. Пермь: Агентство РАДАР, 2022. 536 с. ISBN 978-5-6048401-0-8. EDN IRPVVJ.

23. Якимов, М.Р. Подходы к формированию эффективной маршрутной сети крупных городов // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2022. № 3(55). С. 107–113. DOI 10.20291/2079-0392-2022-3-107-113. EDN ESGEPA.

24. Корчагин В.А., Гринченко А.В. Распределение автобусов по маршрутам движения с учетом вреда окружающей среде // Аграрный научный журнал. 2015. № 9. С. 40–43. EDN UJURPN.

25. Рябов И.М., Кашманов Р.Я. Совершенствование организации обслуживания пассажиров на маршруте путем использования автобусов разной вместимости // Вестник СибАДИ. 2019; 16(3): 264–275. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-3-264-275>.

26. Аземша С.А. Разработка предложений по повышению эффективности работы общественного городского пассажирского транспорта // Вестник СибАДИ. 2019;16(5):544–557. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-5-544-557>.

27. Caio Ponte. Traveling heterogeneity in public transportation / Caio Ponte, Hygor Piaget M. Melo, Carlos Caminha, Jos S. Andrade Jr., Vasco Furtado // <https://epjdatascience.springeropen.com/articles/10.1140/epjds/s13688-018-0172-6>

28. Adra N., Michaux J.L., Michel Andre Analysis of the load factor and the empty running rate for road transport. Artemis – assessment and reliability of transport emission models and inventory systems. Rapport de recherche. 2004, 31 p. Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/277183200_Analysis_of_the_load_factor_and_the_empty_running_rate_for_road_transport_Artemis_-_assessment_and_reliability_of_transport_emission_models_and_inventory_systems

29. Azemsha S., Kapski D. The Study of Public Transport Occupancy Rate Patterns in Belarusian cities // International Journal of Engineering Inventions. 2022. Volume 11, Issue 12. pp. 128–134 <https://ijejournal.com/papers/Vol11-Issue12/1112128134.pdf>

30. Аземша С.А., Янкович С.Ю., Петров А.И. Оценка потенциала повышения окупаемости работы городского пассажирского транспорта ежедневным прогнозированием пассажиронапряженности. Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. 2023. (2). С. 41–49. <https://doi.org/10.52928/2070-1616-2023-48-2-41-49>

31. Аземша С.А. Обоснование оптимальной вместимости модуля в составе пассажирского транспортного средства для регулярных городских перевозок // Транспорт Урала. 2023. № 2(77). С. 71–78. DOI 10.20291/1815-9400-2023-2-71-78. EDN RMSUJJ.

REFERENCES

1. Mireia Gascon, Oriol Marquet, Esther Gràcia-Lavedan, Albert Ambròs, Thomas Götschi, Audrey de Nazelle, Luc Int Panis, Regine Gerike, Christian Brand, Evi Dons, Ulf Eriksson, Francesco Iacrossi, Ione Àvila-Palència, Tom Cole-Hunter, Mark J. Nieuwenhuisjen, What explains public transport use? Evidence from seven European cities. *Transport Policy*. 2020; 99:362–374. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2020.08.009>.

2. Malik F.A., Bell M., Dala L. and Busawon K. Modelling transport emission of an out of town centre to achieve emission reduction targets. *2021 6th International Symposium on Environment-Friendly Energies and Applications (EFEA)*, Sofia, Bulgaria, 2021: 1–7. doi: 10.1109/EFEA49713.2021.9406268.

3. Komsta Henryk, et al. The Role of City Public Transport in Creating the Mobility of Its Residents. *AUTOBUSY – Technika Eksploatacja Systemy Transportowe*. 2019; vol. 20: 393–97. doi:10.24136/atest.2019.073.

4. Komsta, Henryk & Drozdziel, Paweł & Opielak, Marek. The role of city public transport in creating the mobility of its residents. *AUTOBUSY – Technika Eksploatacja Systemy Transportowe*. 2019; 20: 393–397. 10.24136/atest.2019.073.

5. Das S. and Das P. Gupta, Role of Public Transport in Urban Mobility – A Case Study of Kolkata. 2013. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/299971852>. (accessed: 24.06.2021).

6. Grinchenko A.V., Marshkova M.V. Determination of socio-economic efficiency of passenger transport use. *TT-Comm – peer-reviewed scientific journal*. 2017; Vol. 11. no. 2: 37–40. (in Russ.)

7. Chatti, Walid & Soltane, Bassem & Turki, Abalala Impacts of Public Transport Policy on City Size and Welfare. *Networks and Spatial Economics*. 2019. 19. 10.1007/s11067-019-09451-y.

8. Martin P, Rogers CA Industrial location and public infrastructure. *J Int Econ*. 1995.39:335–351.

9. Basagaña X., Triguero-Mas M., Agis, D., Pérez N., Reche C., Alastuey A., et al., 2018. Effect of public transport strikes on air pollution levels in

- Barcelona (Spain). *Sci. Total Environ.* 610–611, 1076–1082. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.263>.
10. Bauernschuster S., Hener T., Rainer H. When labor disputes bring cities to a standstill: the impact of public transit strikes on traffic, accidents, air pollution, and health. *Am. Econ. J. Econ. Policy.* 2017; 9: 1–37. Available at: <https://doi.org/10.1257/pol.20150414>.
11. Chen Y., Whalley A. Green infrastructure: the effects of urban rail transit on air quality. *Am. Econ. J. Econ. Policy.* 2012; 4: 58–97. Available at: <https://doi.org/10.1257/pol.4.1.58>.
12. Carrigan A., King R., Velasquez J.M., Raifman M., Duduta N., Social, Environmental and Economic Impacts of BRT Systems: Bus Rapid Transit Case Studies From Around the World. EMBARQ, World Resour. Inst. 2013.
13. Lichtman-Sadot S., Can public transportation reduce accidents? Evidence from the introduction of late-night buses in Israeli cities. *Reg. Sci. Urban. Econ.* 2019; 74: 99–117. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2018.11.009>.
14. Besser L.M., Dannenberg A.L. Walking to public transit. *Am. J. Prev. Med.* 2005; 29: 273–280. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ampre.2005.06.010>.
15. Chaix B., Kestens Y., Duncan S., Merrien C., Thierry B., Pannier B., et al., Active transportation and public transportation use to achieve physical activity recommendations? A combined GPS, accelerometer, and mobility survey study. *Int. J. Behav. Nutr. Phys. Act.* 2014; 11: 1–11. Available at: <https://doi.org/10.1186/s12966-014-0124-x>.
16. Barinova L.D., Zabalkanskaya L.E. The role of urban public transport in achieving the Sustainable Development Goals Agenda 2030. *Tendencii razvitiya nauki i obrazovanija.* 2018; 43-8: 47–52. DOI 10.18411/lj-10-2018-193. (in Russ.)
17. Azemsha S., Kapskiy D. Statistical study of return of work city passenger transport regular messages. *Vestnik of Polotsk State University. Part B. Industry. Applied Sciences.* 2020; (11): 70–77. (in Russ.)
18. Eremin S.V. Optimisation of the rolling stock structure of the urban passenger transport in a general multi-criteria formulation. *World of transport and technological machines.* 2022; 1(76):62–68. (in Russ.) DOI 10.33979/2073-7432-2022-76-1-62-68. EDN MTNDAW.
19. Zhukov A.I. Development and approbation of the methodology for optimising the bus fleet structure by capacity in the conditions of a megacity. *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal.* 2013; 7-2(14): 25–29. EDN QYRBGP.
20. Zhukov A.I. Application of the tabular editor in solving the problems of buses distribution on routes and optimisation of the fleet structure at the passenger motor transport enterprise. *Gruzovoe i passazhirskoe avtohozjajstvo.* 2013; 8: 21–25. (in Russ.) EDN REZUPN.
21. Eremin S.V. Integrated transport planning in the conditions of perspective territorial development of the city. *World of transport and technological machines.* 2021; 3(74): 109–114. (in Russ.) DOI 10.33979/2073-7432-2021-74-3-109-114. EDN QVUVBX.
22. Yakimov M.R., Trofimenko Y.V. Transport planning: formation of effective transport systems of large cities. Perm: Radar Agency, 2022. 536 p. (in Russ.) EDN IRPVVJ.
23. Yakimov M.R. Approaches to formation of an effective route network of large cities. *Herald of the Ural State University of Railway Transport.* 2022; 3(55): 107–113. (in Russ.) DOI 10.20291/2079-0392-2022-3-107-113. EDN ESGEPA.
24. Korchagin V.A., Grinchenko A.V. Distribution of buses on traffic routes taking into account environmental damage. *Agrarian Scientific Journal.* 2015; 9: 40–43. (in Russ.) EDN UJURPN.
25. Ryabovbov I.M., Kashmanov R.Ya. IMPROVING THE ORGANIZATION OF PASSENGER SERVICE ON THE ROUTE BY USING BUSES OF DIFFERENT CAPACITY. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal.* 2019; 16(3): 264–275. (In Russ.) <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-3-264-275>
26. Azemsha S.A. Development of proposals to improve the efficiency of public urban passenger transport. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal.* 2019;16(5):544–557. (In Russ.) <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-5-544-557>
27. Caio Ponte. Traveling heterogeneity in public transportation / Caio Ponte, Hygor PiagetM. Melo, Carlos Caminha, Jos S. Andrade Jr., Vasco Furtado. Available at: <https://epjdatascience.springeropen.com/articles/10.1140/epjds/s13688-018-0172-6>
28. Adra N., Michaux J.L., Michel Andre Analysis of the load factor and the empty running rate for road transport. Artemis - assessment and reliability of transport emission models and inventory systems. Rapport de recherche. 2004, 31 p. Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/277183200_Analysis_of_the_load_factor_and_the_empty_running_rate_for_road_transport_Artemis_-_assessment_and_reliability_of_transport_emission_models_and_inventory_systems
29. Azemsha S., Kapski D. The Study of Public Transport Occupancy Rate Patterns in Belarusian cities // *International Journal of Engineering Inventions.* 2022; Volume 11, Issue 12: 128–134 <https://ijejournal.com/papers/Vol11-Issue12/1112128134.pdf>
30. Azemsha S., Yankovich S., Petrov A. Evaluation of the potential to increase return on work urban passenger transport daily passenger volume forecast. *Vestnik of Polotsk State University. Part B. Industry. Applied Sciences.* 2023; (2): 41–49. (in Russ.) <https://doi.org/10.52928/2070-1616-2023-48-2-41-49>
31. Azemsha S.A. Justification of the optimal capacity of the module in the passenger vehicle for regular urban transportation. *Transport of the Urals.* 2023; 2(77)71–78. DOI 10.20291/1815-9400-2023-2-71-78. EDN RMSUJJ.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Аземша Сергей Александрович – канд. техн. наук, доц., заведующий кафедрой управления автомобильными перевозками и дорожным движением Белорусского государственного университета транспорта (246653, г. Гомель, ул. Кирова, д. 34), **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9368-8910>, **SPIN-код:** 6898-2383, e-mail: s-azemsha@yandex.ru

INFORMATION ABOUT AUTHOR

*Sergei A. Azemsha – Cand. of Sci., Associate Professor, the Head of the Road Transport and Traffic Management Department, Belarusian State University of Transport (246653, Gomel, 34, Kirov str.), **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9368-8910>, **SPIN-code:** 6898-2383, e-mail: s-azemsha@yandex.ru*