



ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЕЖЕСУТОЧНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПАРКОМ МОДУЛЬНЫХ ПАССАЖИРСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ГОРОДСКИХ РЕГУЛЯРНЫХ МАРШРУТАХ

Аземша С.А.^{1*}, Янкович С.Ю.¹

¹ Белорусский государственный университет транспорта, гор. Гомель, Республика Беларусь

* Контактное лицо: s-azemsha@yandex.ru (А.С.А.)

avtopark6@gomelavto.by (Я.С.Ю.)

Аннотация. Параметры пассажиропотока на маршруте регулярного городского общественного пассажирского транспорта (ГОПТ) являются основополагающими при организации данного вида транспортной работы. В частности, величина пассажиропотока на маршруте определяет количество и вместимость пассажирских транспортных средств (ПТС), а также интервалы их движения и период работы. Основная проблема заключается в том, что величина пассажиропотока не является постоянной и может меняться ежедневно в зависимости от дня недели, месяца года и иных факторов, влияющих на транспортную подвижность населения. В то же время на практике количество ПТС, работающих на маршруте, их вместимость и интервалы движения изменяются в зависимости от типа дня недели (будний/выходной) и сезона (летнее/зимнее расписание). Такой подход к планированию и организации работы ГОПТ зачастую приводит к избытку провозных возможностей по сравнению с имеющейся мощностью пассажиропотока. В свою очередь это ведёт к неоправданному увеличению себестоимости работы ГОПТ. Поэтому создание условий, при которых провозные возможности ПТС будут максимально приближаться к величине пассажиропотока, позволит повысить окупаемость работы ГОПТ. Одним из возможных способов обеспечения соответствия вместимости ПТС фактическому пассажиропотоку является организация работы ГОПТ с использованием составов модульных ПТС. Суммарная вместимость таких ПТС при выполнении каждого рейса на каждом маршруте может увеличиваться (уменьшаться) путём прицепки (отцепки) модулей. Регулирование вместимости модульных ПТС основано на мониторинге пассажиронапряжённости на каждом рейсе каждого маршрута и прогнозировании пассажиронапряжённости для распределения имеющегося парка составов модульных ПТС на эти рейсы. Целью исследования является оценка экономической эффективности ежесуточного прогнозирования пассажиронапряжённости на каждом рейсе каждого маршрута с дальнейшим назначением на рейсы состава модульных ПТС оптимальной вместимости. Результаты расчётов показали, что использование составов модульных ПТС позволяет повысить окупаемость работы на исследуемом оборотном рейсе на 39% (с 79.8% до 110.6%), а также снизить себестоимость выполнения такого оборотного рейса на 41% (с 7.74 у. е. до 4.59 у. е.). Реализация предлагаемой схемы организации работы городского пассажирского транспорта в г. Гомеле, основанной на использовании составов модульных ПТС, позволит сэкономить порядка 2.38 млн у. е. в год.

Ключевые слова: пассажиронапряжённость, состав модульного пассажирского транспортного средства, прогнозирование, вместимость, интеллектуальный анализ данных

© Аземша С.А., Янкович С.Ю., 2024

Поступила: 09 января 2024; Принята к публикации: 21 июня 2024; Опубликована: 08 июля 2024

Для цитирования:

Аземша С.А., Янкович С.Ю. Оценка эффективности ежесуточного управления парком модульных пассажирских транспортных средств на городских регулярных маршрутах // Недропользование и транспортные системы. 2024. Т.14. №1. С.4–17. <https://doi.org/10.18503/SMTS-2024-14-1-4-17>



Это произведение доступно по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

<https://doi.org/10.18503/SMTS-2024-14-1-4-17>

ISSN 2949-0952 (Print)



DAILY MANAGEMENT EFFICIENCY EVALUATION OF THE MODULAR PASSENGER VEHICLES FLEET ON URBAN REGULAR ROUTES

Siarhei Azemsha^{1*}, Sergei Yankovich¹

¹ Belarusian State University of Transport, Gomel, Republic of Belarus

* Corresponding: s-azemsha@yandex.ru (S.A.)

avtopark6@gomelavto.by (S.Ya.)

Abstract. Parameters of passenger flow on the route of regular urban public passenger transport (UPPT) are fundamental in the organization of this type of transport work. In particular, the amount of passenger flow on the route determines the number and capacity of passenger vehicles (PV), as well as the intervals of their movement and the period of operation. The main problem is that the value of passenger traffic is not constant and can vary daily depending on the day of the week, month of the year and other factors affecting the transport mobility of the population. At the same time, in practice, the number of PV operating on a route, their capacity, and intervals vary depending on the type of weekday (weekday/weekend) and season (summer/winter schedule). Such an approach to planning and organization of UPPT operation often leads to excess capacity compared to the available passenger flow capacity. In turn, this leads to an unjustified increase in the cost of operations of the UPPT. Therefore, creating conditions under which the capacity of the PVs will be as close as possible to the passenger flow allows increasing the payback period of the PV operation. One of the possible ways to ensure that the capacity of PV corresponds to the actual passenger flow is to organize the operation of the UPPT using modular PV. The total capacity of such PVs can be increased (decreased) by attaching (detaching) modules during each trip on each route. Regulation of the capacity of modular PV is based on monitoring of passenger load on each flight of each route and forecasting of passenger load for distribution of the available fleet of modular PV for these flights. The purpose of the study is to assess the economic efficiency of daily forecasting of passenger load on each flight of each route, with further assignment of modular TCPs with optimal capacity to the flights. The results of calculations have indicated that the use of modular PV allows increase the payback of work on the studied turnaround trip by 39% (from 79.8% to 110.6%), as well as to reduce the cost of such a turnaround trip by 41% (from 7.74 U.U. to 4.59 U.U.). Implementation of the proposed scheme of urban passenger transport organization in Gomel city, based on the use of modular PV, will save about 2.38 million UU per year.

Keywords: passenger capacity, modular passenger vehicle composition, forecasting, capacity, intelligent data analysis

© Azemsha S., Yankovich S., 2024

Received: January 09, 2024; Accepted: June 21, 2024; Published: July 08, 2024

For citation:

Azemsha S., Yankovich S. Daily Management Efficiency Evaluation of the Modular Passenger Vehicles Fleet on Urban Regular Routes // *Subsurface Management and Transportation Systems*. 2024, Vol.14, No.1, pp.4-17. <https://doi.org/10.18503/SMTS-2024-14-1-4-17>



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Введение

Аналізу неравномерности пассажиропотока уделено немало внимания в научной литературе. В работах [1–5] показано наличие неравномерности параметров, характеризующих мощность пассажиропотока на городском общественном пассажирском транспорте (ГОПТ), и предложено повышение эффективности его работы путём распределения автобусов (троллейбусов) разной вместимости по маршрутам с учётом мощности пассажиропотоков.

В работе [6] в качестве критериев оценки степени использования вместимости автобусов (троллейбусов) использовались:

- средняя наполняемость за рейс (Np), пасс., то есть отношение выполненных за рейс пассажиро-километров к длине рейса;
- коэффициент рейсовой вместимости ($K_{рвм}$) – отношение выполненных за рейс пассажиро-километров транспортной работы к максимально возможной транспортной работе, определяемой произведением вместимости автобуса и расстоянием поездки;
- коэффициент пассажиронапряжённости ($K_{пн}$) – отношение максимального пассажиропотока за рейс (пассажиронапряжённости) к вместимости автобуса.

Авторами установлено наличие статистически значимых различий в приведённых выше критериях оценки степени использования вместимости автобусов (троллейбусов) в зависимости от маршрута их работы, дней недели, часов суток. Также получено, что средняя эффективность использования вместимости ПТС составляет порядка 30%, что согласуется с данными, приведёнными в [4].

Результаты исследования [7] показали, что на многих маршрутах действует закон Парето – на 80% от общего числа маршрутов используется только 20% вместимости автобусов. В [8] представлена информация о динамике использования автобусов в странах ЕС. В этих исследованиях показана невысокая степень использования вместимости пассажирских транспортных средств (ПТС). Аналогичное исследование со схожими результатами для условий США можно найти в [9].

Таким образом, во многих исследованиях доказано наличие значительной вариативности мощности пассажиропотока в зависимости от маршрута, дня недели, часов суток и т. д. Это приводит к несоответствию имеющейся провозной возможности ГОПТ и мощности пассажиропотока, снижению эффективности перевозочного процесса.

Для повышения эффективности использования ПТС ряд авторов предложили модели, учитывающие смещение пассажиропотока и распределяющие ПТС разной вместимости по маршрутам в разное время суток. Например, в [10] авторы показывают, что нулевая рентабельность работы ГОПТ наблюдается при

коэффициенте использования вместимости 0.37. Авторы предложили для повышения экономической эффективности ГОПТ размещать на маршруте ПТС различной вместимости. Аналогичное предложение приведено и в работе [11]. Авторы показывают существенное, до 0.7, увеличение коэффициента использования вместимости ПТС после реализации таких мероприятий. Также авторами отмечено снижение нагрузки на улично-дорожную сеть и выброса вредных веществ. Вместе с тем использование на практике ПТС разных моделей (марок) с различной вместимостью, требует соответствующих ремонтных мощностей, складов запчастей, что обусловлено разнообразием марок (моделей) ПТС. Кроме того, пересаживание водителей с одного ПТС на другое демотивировало их бережное отношение к транспортным средствам. Итогом такой демотивации стал ускоренный выход из строя парка ПТС.

В работе [12] для минимизации общих эксплуатационных расходов перевозчика предложено выбирать ПТС оптимальной вместимости. Авторы отмечают, что оптимальная вместимость ПТС должна быть выбрана таким образом, чтобы минимизировать общие затраты транспортной системы. Авторы отмечают, что одной из причин недостаточного использования вместимости ПТС является их неоптимальная вместимость, поскольку их вместимость избыточна, что приводит к недостаточной заполняемости и увеличению времени в пути. Для решения этой проблемы авторы предлагают двухуровневую математическую модель выбора ПТС оптимальной вместимости. Такой подход позволяет определить оптимальную и одинаковую вместимость ПТС в парке. Это позволяет несколько повысить эффективность использования вместимости ПТС, решать проблемы с излишними ремонтными мощностями, складами запчастей, но не позволяет достаточно гибко подстраивать вместимость ПТС под меняющуюся мощность пассажиропотока. Другими словами, применение ПТС разной вместимости позволяет подстроить провозную возможность ГОПТ под имеющуюся мощность пассажиропотока и, следовательно, снизить себестоимость перевозки и повысить эффективность работы ГОПТ. Однако при таком решении возникает ряд организационных вопросов, основной из которых – где взять ПТС меньшей вместимости? Если такое транспортное средство ожидало выхода в рейс на конечном остановочном пункте, то водитель пересаживается с ПТС большей вместимости на ПТС меньшей вместимости. В этом случае будут иметь место простои ПТС без выполнения работы: в периоды увеличения пассажиропотока будет простаивать ПТС малой вместимости, а в периоды спада – ПТС большой вместимости. Если же водитель должен будет вернуть ПТС большой вместимости в парк, пересесть там на ПТС малой вместимости и на нем продолжить работу, то возникают дополнительные непродолжительные нулевые пробеги. Кроме того, наличие парка ПТС разной вместимости предполагает наличие

у перевозчика соответствующей ремонтной базы, склада запчастей, что приводит к дополнительным затратам.

В работе [13] предлагается повысить эффективность перевозки пассажиров в регулярном сообщении путём создания интеллектуальной городской транспортной системы, которая включает в себя парк беспилотных транспортных средств (инфобусов), движущихся по обособленным рельсовым путям. Каждый такой инфобус имеет небольшую вместимость (до 15 мест). Инфобусы, движущиеся по одинаковому маршруту (части маршрутов) могут сцепляться друг с другом, снижая тем самым динамический габарит и, следовательно, уменьшая транспортную нагрузку на улично-дорожную сеть. Маршруты работы инфобусов динамические и формируются на основании данных о наличии пассажиров на начальном и конечном пунктах. Эти данные поступают с терминалов, размещённых на остановочных пунктах. Такая динамическая подстройка под пассажирские корреспонденции, вероятно, позволит повысить качество перевозки пассажиров и снизить затраты на осуществление транспортировки. Однако стоит отметить, что реализация такого предложения требует значительных капитальных затрат на строительство железнодорожных путей, инфраструктуру для беспилотных транспортных средств, создание терминалов и т. д. Кроме того, часть

пассажиров ввиду возрастных ограничений будет не способна реализовать своё право на передвижение из-за технической сложности процесса планирования своей поездки.

Чтобы избежать описанных выше проблем, в работе [14] предложено использование составов модульных ПТС, которые позволяют уменьшать или увеличивать пассажироместимость в зависимости от величины пассажиронапряжённости для каждого выполняемого рейса (рис. 1). В свою очередь, это обеспечит снижение себестоимости выполнения перевозки и увеличение эффективности работы ГОПТ. Механизм такого повышения эффективности заключается в том, что в период спада пассажиропотока, уменьшения пассажиронапряжённости и коэффициента пассажиронапряжённости [15], рейс выполняется составом модульного ПТС, состоящим из одного модуля (рис. 1,а). При увеличении пассажиропотока и пассажиронапряжённости [15] на конечных остановочных пунктах в состав модульного ПТС добавляется необходимое количество модулей, обеспечивающих требуемую суммарную вместимость состава модульного ПТС (рис. 1,б). Очевидно, что для снижения себестоимости выполнения такого рейса, разница между вместимостью состава модульного ПТС и пассажиронапряжённостью должна быть минимальной и положительной.

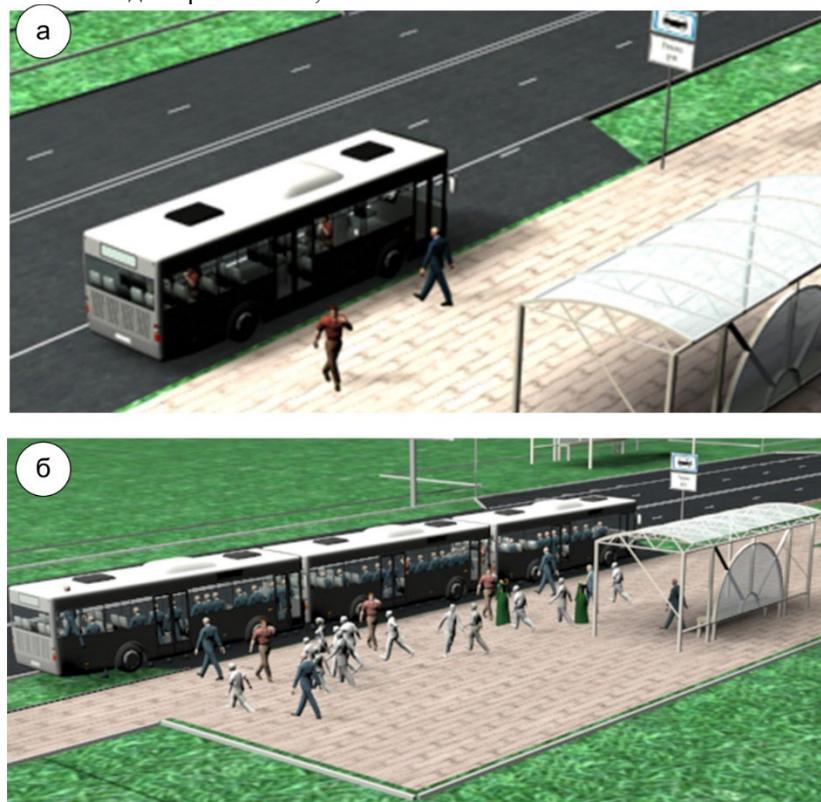


Рис. 1. Использование модульных ПТС: а – один модуль в периоды снижения пассажиропотока; б – три модуля в периоды увеличения пассажиропотока

Fig. 1. Use of modular passenger vehicles: a — one module during periods of reduced passenger traffic; b — three modules during periods of increased passenger traffic

В работе [16] показано, что объем перевозок пассажиров в городе не постоянен и зависит от ряда погодных и календарных факторов. Поэтому логичным будет предположить, что при изменении пассажиропотока будет меняться и пассажиронапряжённость. То есть, если на какой-то день k для i -й ездки на j -м маршруте величина пассажиронапряжённости составляет, например, 70 пассажиров ($Pkij = 70$) и для её выполнения необходим состав модульных ПТС вместимостью $Vkij$, такой что $Vkij - Pkij \rightarrow \min$, при $Vkij - Pkij \geq 0$. Если на другой день $(k+1)$ значение пассажиронапряжённости будет иное ($P(k+1)ij \neq Pkij$), то это, возможно, повлечёт за собой назначение для выполнения данной ездки иного состава модульного ПТС ($V(k+1)ij \neq Vkij$). Поэтому логичным будет предложенный в работе [14] механизм подстройки провозной способности под имеющуюся мощность пассажиропотока реализовывать ежедневно для каждого рейса на каждом маршруте. Концептуальный данный механизм подстройки описан в [17].

Однако в настоящее время отсутствуют публикации, которые показывают наличие (отсутствие) связи между пассажиронапряжённостью на каждом рейсе каждого маршрута и календарными, погодными условиями. Это не позволяет оценить экономическую целесообразность предложенной в [17] схемы функционирования ГОПТ.

Научная новизна настоящего исследования заключается в установлении факта и вида зависимости между пассажиронапряжённостью на каждом рейсе каждого маршрута и погодными и календарными условиями, с дальнейшей оценкой, на этой основе, экономической целесообразности реализации схемы организации и планирования работы ГОПТ, предложенной в [17]. Задачей исследования является оценка экономической эффективности работы ГОПТ при реализации схемы организации и планирования работы, основанной на использовании модульных ПТС.

2. Данные и методы

Данные по пассажиропотоку собирались в течение года (с 19.07.2022 по 21.07.2023) с использованием установленной на борту автобуса МАЗ-105 системы видеонаблюдения. Производился подсчёт числа входящих и выходящих пассажиров на автобусном маршруте №25 «Ратон–Медгородок» в гор. Гомель (Беларусь) на одном и том же обратном рейсе, начинающемся в 7:10 с остановочного пункта «Ратон». На основании полученных данных определялась величина пассажиронапряжённости для каждого рейса – максимальной наполняемости за рейс – в прямом (Pn) и обратном (Po) направлениях. Эта величина являлась зависимой. В качестве независимых величин, предположительно влияющих на зависимость, выступали:

1. Характеристики дня:
 - день недели (D) – категориальная переменная, указывающая день недели. Принимает семь значений от понедельника до воскресенья;
 - месяц года (M) – категориальная переменная, указывающая месяц года. Принимает 12 значений от января до декабря;
 - тип дня недели (H) – категориальная переменная, принимающая значения «Рабочий», «Выходной», «Предпраздничный».
2. Прогнозная информация о погоде на каждый день, размещаемая на ресурсе «Яндекс погода» на 16:00 часов каждого дня, предшествующего дню перевозки:
 - осадки (O) – категориальная переменная, показывающая наличие и характеристики осадков;
 - температура ночью (Tn) и днём (Td) – непрерывная переменная, показывающая температуру воздуха в градусах Цельсия ночью и днём.

Выдвигалась гипотеза о наличии влияния календарной информации и информации о погоде на пассажиронапряжённость по направлениям.

На рис. 2, 3 приведены основные описательные характеристики рассматриваемых зависимых переменных [18]. Из рисунков видно:

1. Выборка представлена 183 наблюдениями.
2. Средняя пассажиронапряжённость в прямом направлении составляет 85,7 пассажиров, её минимальное и максимальное значения составляют, соответственно, 32 и 120 пассажиров.
3. Средняя пассажиронапряжённость в обратном направлении составляет 39,8 пассажиров, её минимальное и максимальное значения составляют, соответственно, 18 и 78 пассажиров.
4. Внешний вид диаграммы рассеивания (рис. 2), а также графики (рис. 3) позволяют выдвинуть гипотезу о том, что рассматриваемые величины распределены по закону, отличному от нормального. Для определения закона распределения случайной величины требуется дополнительный статистический анализ.

Анализ выборки значений пассажиронапряжённости по направлениям на наличие выбросов, проведённый с использованием критерия Граббса показал отсутствие выбросов, являющихся ошибкой измерений. Визуальный анализ диаграмм размаха значений пассажиронапряжённости по направлениям движения показал возможную зависимость пассажиронапряжённости от направления движения (рис. 4).

Анализ различий двух независимых переменных, выполненный с использованием критериев серий Вальда-Вольфовица, Колмогорова-Смирнова, U-критерий Манна-Уитни, реализованный в [18], показал значимость таких отличий по всем трём критериям. Это позволяет предполагать целесообразность использования разного числа модулей в составе модульного ПТС при перевозках в прямом и обратном направлениях на данном маршруте в данное время.

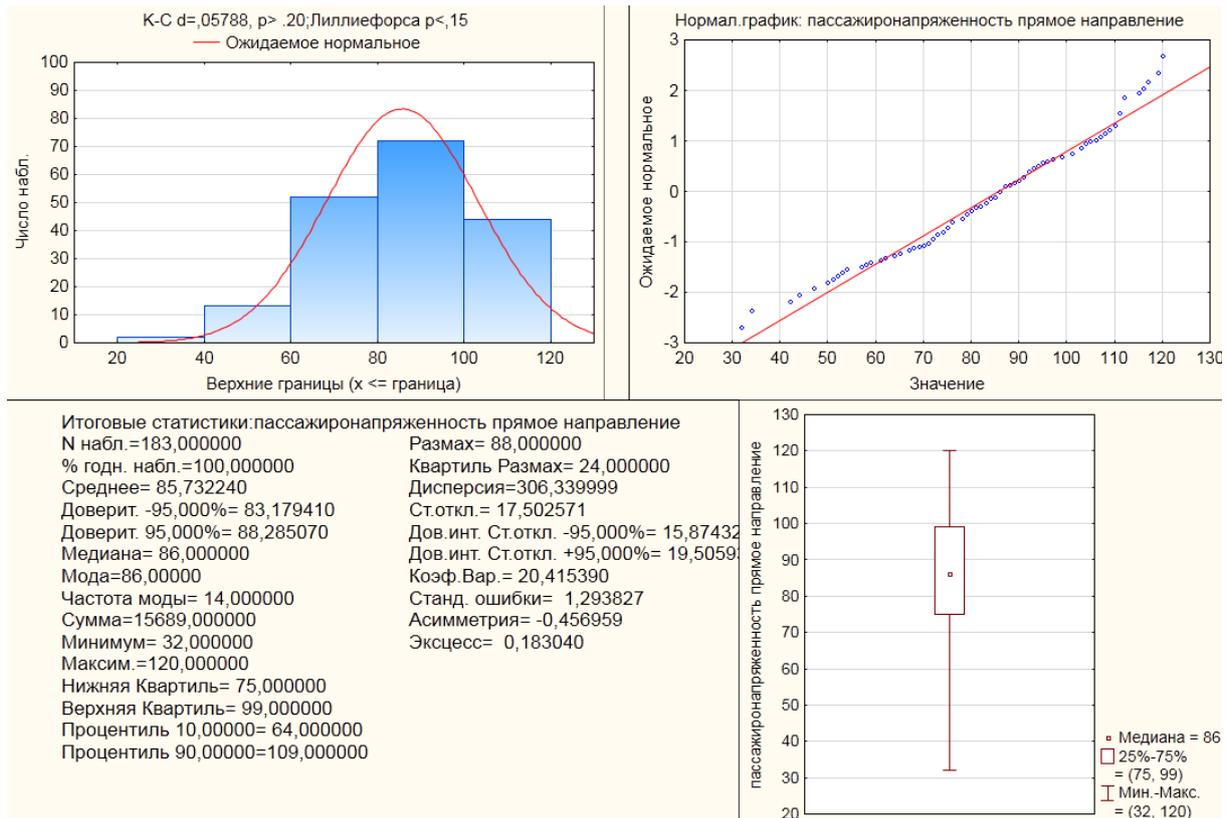


Рис. 2. Характеристики пассажиронапряжённости для рейса в прямом направлении
 Fig. 2. Passenger load characteristics for a direct bus trip

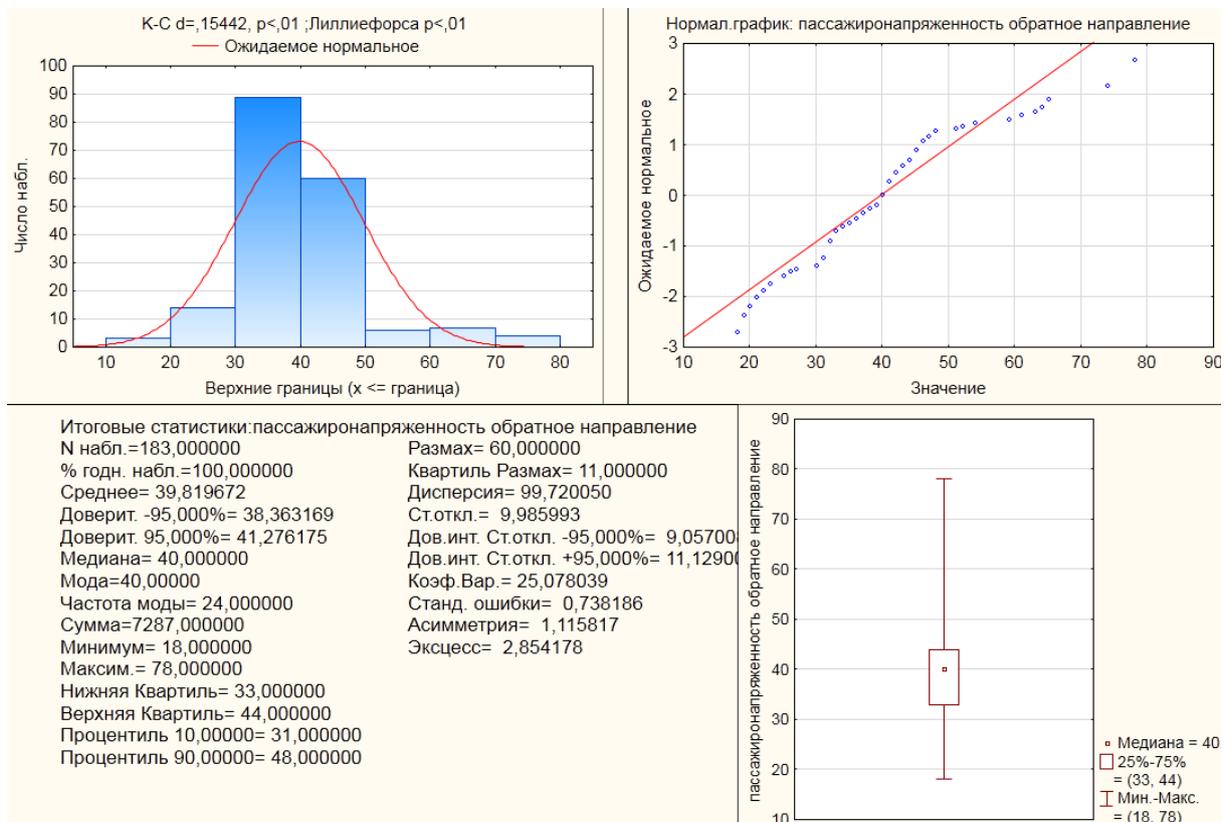


Рис. 3. Характеристики пассажиронапряжённости для рейса в обратном направлении
 Fig. 3. Passenger load characteristics for a bus trip in the reverse direction

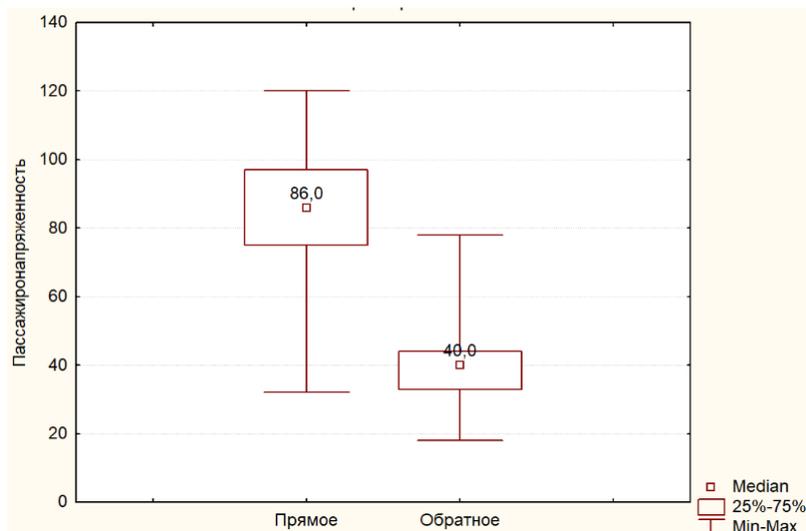


Рис. 4. Диаграмма размаха пассажиронапряжённости для рейса в прямом и обратном направлениях
 Fig. 4. Diagram of passenger load spread for a bus trip in forward and reverse directions

Аналогичным образом и с использованием соответствующих критериев производился анализ значимости различий выборок пассажиронапряжённости в прямом и обратном направлении по следующим группам: тип дня; осадки; сезон; месяц; день недели.

3. Результаты

Результаты такого анализа показывают, что:

1. Значения пассажиронапряжённости в прямом направлении в рабочие и предпраздничные дни значительно отличаются от пассажиронапряжённости в выходные дни.
2. Имеются визуальные различия в значениях пассажиронапряжённости в прямом и обратном направлениях в зависимости от наличия и типа осадков. Однако указанные различия не являются значимыми.

3. Имеется значимое снижение пассажиронапряжённости в прямом направлении летом по сравнению с остальными временами года.
4. Имеется значимое различие пассажиронапряжённости в обратном направлении между парами времён года лето-осень и весна-осень.
5. Имеются значимые различия значений пассажиронапряжённости в прямом и обратном направлениях между некоторыми парами месяцев года.
6. Имеется значимое снижение пассажиронапряжённости в прямом направлении в субботу и воскресенье по сравнению с остальными днями недели.

Для оценки влияния прогнозной температуры на величины пассажиронапряжённости построены графики соответствующих зависимостей (рис. 5, 6).

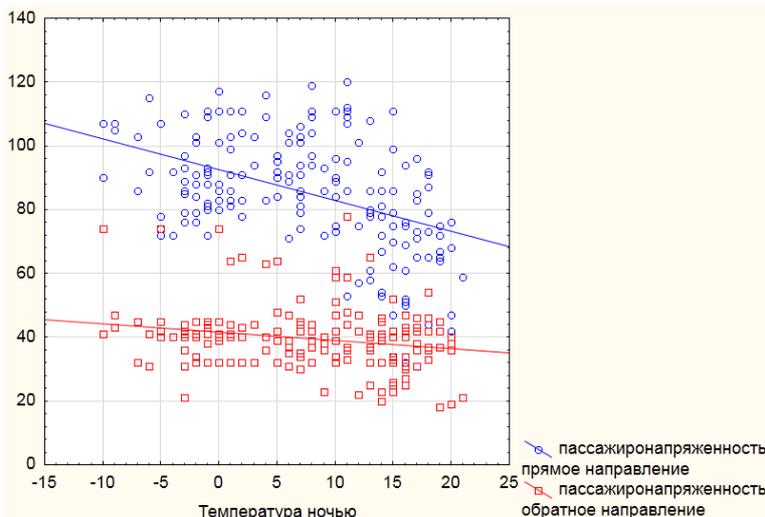


Рис. 5. Изменение значений пассажиронапряжённости в зависимости от прогнозной ночной температуры (коэффициент корреляции равен -0.43 в прямом направлении и -0.18 в обратном)

Fig. 5. Change in passenger load values depending on the forecast night temperature (correlation coefficient is -0.43 in the forward direction and -0.18 in the reverse direction)

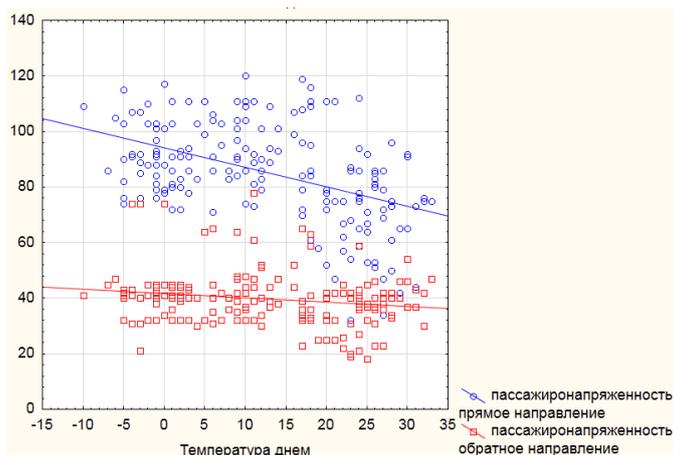


Рис. 6. Изменение значений пассажиронапряжённости в зависимости от прогнозной дневной температуры (коэффициент корреляции равен -0.43 в прямом направлении и -0.16 в обратном)

Fig. 6. Change in passenger load values depending on the forecast daily temperature (correlation coefficient is -0.43 in the forward direction and -0.16 in the reverse direction)

Дальнейший линейный регрессионный анализ позволил установить наличие зависимостей между значениями пассажиронапряжённости и температуры. Указанные регрессионные зависимости значимы по критериям Фишера и Стьюдента. Также распределение остатков этих зависимостей подчинено нормальному закону распределения. В то же время значения коэффициентов детерминации невысоки (от 0.05 до 0.15), что показывает низкий процент объяснённости зависимых переменных значениями независимой.

Таким образом, на значения пассажиронапряжённости на рассматриваемом обратном рейсе рассматриваемого маршрута оказывают влияние множество переменных, как непрерывных, так и категориальных. Это подразумевает целесообразность их совместного учёта при прогнозировании пассажиронапряжённости.

Следует отметить, что некоторые рассматриваемые независимые величины, используемые для прогнозирования значений пассажиронапряжённости, могут коррелировать между собой, что подразумевает наличие эффекта мультиколлинеарности. Кроме того, набор входных данных для прогнозирования пассажиронапряжённости представлен непрерывными и категориальными переменными. Все это усложняет применение классических методов анализа данных и показывает целесообразность применения при прогнозировании значений пассажиронапряжённости методов интеллектуального анализа данных (Data Mining). Интеллектуальный анализ данных предлагает несколько преимуществ по сравнению с классическими методами анализа данных. Вот некоторые ключевые преимущества [19–22]:

1. Обнаружение скрытых и нелинейных закономерностей и взаимосвязей. Методы интеллектуального анализа данных могут выявить скрытые закономерности, взаимосвязи и понимание в больших наборах данных.
2. Прогнозная аналитика, которая предполагает

использование исторических данных для прогнозирования.

3. Автоматизация и эффективность. Интеллектуальный анализ данных автоматизирует процесс извлечения знаний из данных, уменьшая необходимость ручного анализа и интерпретации.
4. Обработка сложных типов данных. Методы интеллектуального анализа данных могут обрабатывать широкий спектр типов данных.
5. Отсутствие ограничений на входные данные.

При прогнозировании значений пассажиронапряжённости использовались методы интеллектуального анализа данных, реализованные в [18]: нейронные сети, случайный лес, бустинг деревьев, метод случайных векторов. При этом исходные данные использовались как в начальном виде, так и после нормализации. При нормализации непрерывных переменных использовался метод минимакса, а категориальных – частотное кодирование. Результаты дальнейшего прогнозирования пассажиронапряжённости показали, что наилучшее качество прогноза обеспечивает применение метода опорных векторов с использованием ненормализованных исходных данных. Этот метод обеспечивает коэффициент корреляции 0.916 для пассажиронапряжённости в прямом направлении и 0.86 – в обратном. Анализ распределения остатков показал, что они распределены по нормальному закону распределения.

Далее, на основании прогнозных значений пассажиронапряжённости рассчитывалось достаточное количество модулей в составе модульного ПТС для организации перевозки по каждому рейсу путём деления прогнозного значения пассажиронапряжённости на вместимость одного модуля. В работе [23] показано, что с точки зрения минимизации затрат на перевозку пассажиром, вместимость одного модуля должна быть минимальной. В то же время отмечено, что оптимальная вместимость модуля должна рассчитываться с учётом вариантов их конструкции, конструкций сцепных

устройств в составе модульного ПТС, ограничений, накладываемых на длину состава модульного ПТС, затрат времени на прицепку-отцепку модуля. Вопросы конструкции модуля и конструкций сцепных устройств находятся в сфере компетенции специалистов конструкторского профиля. Установление значений времени на прицепку-отцепку модуля возможно лишь при проведении хронометражных испытаний, которые не представляется возможным реализовать в настоящее время вследствие отсутствия таких модулей. Поэтому оптимальная длина модуля определялась исходя из:

- ограничений, накладываемых на длину состава модульного ПТС, которое, в соответствии с действующими Правилами дорожного движения составляет в настоящее время 18.75 м;
- зависимости средней длины серийно выпускаемых пассажирских транспортных средств от их вместимости (табл. 1).

Таблица 1. Длина и вместимость расчётных автобусов
Table 1. Length and capacity of the buses

Длина автобуса, L , м	Средняя вместимость автобуса, V , пасс.
6.79	35
7.43	40
8.04	53
8.30	60
8.80	66
12.00	100
12.41	114
14.48	130
17.985	168
18.75	169

Используя данные, приведённые в табл. 1, получена регрессионная модель, описывающая зависимость вида

$$V = -37.9699 + 11.4337 L. \quad (1)$$

Поскольку уравнение является линейным, то был рассчитан выборочный коэффициент корреляции $r = 0.994$, который близок к 1, что свидетельствует о сильной тенденции к линейной зависимости между исследуемыми величинами. Значение коэффициента детерминации $R^2 = 0.989$ также является близким к 1. Это позволяет говорить о том, что построенное уравнение регрессии хорошо описывает зависимость между величинами, поскольку выбранная линейная регрессионная модель объясняет 98.9% изменения зависимой переменной. Для проверки адекватности полученного уравнения регрессии были проанализированы остатки, графическое представление и статистическая проверка которых позволила сделать выводы о том, что модельные предположения о случайных отклонениях не нарушаются. То есть случайные отклонения являются независимыми нормально распределёнными случайными величинами с математическим ожиданием равным

нулю и постоянной дисперсией. Проверка значимости уравнения регрессии показала, что полученное уравнение регрессии статистически значимо при уровне значимости $\alpha = 0.05$. Таким образом, полученное уравнение регрессии хорошо описывает зависимость вместимости автобуса от его длины и может быть использовано для определения вместимости модуля маршрутного транспортного средства.

С использованием уравнения (1) определена максимальная вместимость модуля маршрутного транспортного средства в зависимости от длины модуля (табл. 2).

Таблица 2. Максимальная вместимость состава модульного ПТС

Table 2. Maximum capacity of a modular passenger vehicle

Число модулей	Длина модуля, м	Максимальная вместимость модуля, пасс.
1	18.75	176
2	9.37	69
3	6.25	33
4	4.68	16
5	3.75	5

Исходя из максимальной вместимости модуля маршрутного транспортного средства и максимальной пассажиронапряжённости по маршрутам в прямом и обратном направлениях, было определено количество модулей, необходимое для перевозки пассажиров на каждом рейсе каждого маршрута при различных вариантах их вместимости. Для этого использовались данные обследования пассажиропотоков в гор. Гомеле, описанные в [14]. Результаты таких расчётов показали, что использование в одном модульном ПТС четырёх модулей длиной 4.68 метра и 5 модулей длиной 3.75 метра недостаточно для перевозки пассажиров без введения дополнительных рейсов, поскольку вместимость таких модулей меньше значений пассажиронапряжённости. Таким образом, оптимальным является использование двух модулей длиной 9.37 метров и вместимостью 69 пассажиров, либо трех модулей длиной 6.25 метров и вместимостью 33 пассажира. С учётом того, что минимизация вместимости модуля обеспечивает большую окупаемость [23], в дальнейших расчётах принималось, что состав модульного ПТС состоит из трех модулей вместимостью по 33 пассажира.

Дальнейшие расчёты производились для модуля вместимостью 33 пассажира и максимального числа таких модулей в составе модульного ПТС в количестве 3-х единиц. Прогнозные значения пассажиронапряжённости в обратном направлении, полученные с использованием метода опорных векторов, представлены в табл. 3.

Необходимое количество модулей рассчитывалось путём деления величины пассажиронапряжённости на вместимость одного модуля и округления полученного значения в большую сторону. Коэффициенты

пассажиронапряжённости для каждого рейса для случая использования состава модульного ПТС рассчитывались путём деления фактического значения пассажиронапряжённости на вместимость состава модульного ПТС. Аналогично определялся фактический коэффициент пассажиронапряжённости на рассматриваемом маршруте. Фрагмент полученных результатов представлен в табл. 3.

Из табл. 3 видно, что применение состава модульного ПТС до 3-х модулей вместимостью 33-и пассажира позволяет увеличить значения коэффициентов пассажиронапряжённости в среднем с 0.226 до 0.64. Аналогично было установлено, что для прямого направления коэффициент пассажиронапряжённости увеличивается с 0.486 до 0.838.

Оценка экономического эффекта организации перевозки с применением состава модульного ПТС производилась с использованием следующих данных и методик:

- методика расчёта изменения окупаемости работ [14, с. 550, 551];
- методика расчёта изменения себестоимости перевозок [24, с. 159–164] (с учётом изменения курса рубля к доллару [25]);
- скорость движения на маршруте – 20 км/ч, длина исследуемого маршрута 15.5 км.

Результаты расчёта экономического эффекта представлены в табл. 4.

Таблица 4. Результаты расчёта экономического эффекта организации перевозок с применением состава модульных ПТС

Table 4. Results of the analysis

Показатель	Прямое направление			Обратное направление			Оборотный рейс		
	Существующий способ (МАЗ 105)	Состав модульного ПТС	+/-, %	Существующий способ (МАЗ 105)	Состав модульного ПТС	+/-, %	Существующий способ (МАЗ 105)	Состав модульного ПТС	+/-, %
Средний коэффициент пассажиронапряжённости	0.486	0.838	72	0.226	0.64	183	0.356	0.739	108
Расчётная окупаемость, %	95.2	115.4	21	64.3	105.8	65	79.8	110.6	39
Средняя вместимость ПТС, пасс.	176	95.7	-46	176	62.7	-64	176	79.2	-55
Себестоимость рейса, у. е.	3.87	2.55	-33.8	3.87	2.01	-47.7	7.74	4.59	-41

Из табл. 4 видно, что организация работы автобусов с использованием состава модульных ПТС на расчётном маршруте №25 при выполнении оборотного рейса, начинающегося в 7:10 с остановочного пункта «Ратон», позволит:

- повысить окупаемость работы на данном оборотном рейсе на 39 % (с 79.8% до 110.6%);
- снизить себестоимость выполнения оборотного рейса на 41% (с 7.74 у.е. до 4.59 у.е.).

Абсолютная экономия при этом составит 3.15 у.е./рейс. Учитывая то, что таких рейсов на рассматриваемом маршруте выполняется 17 в течение суток,

Таблица 3. Фрагмент результатов расчёта эффективности применения составов модульного ПТС на рассматриваемом маршруте в обратном направлении

Table 3. Fragment of the efficiency calculating for using modular passenger vehicle trains on the considered route in the reverse direction

Пассажиронапряжённость, пасс.		Необходимое число модулей в составе модельного ПТС, шт.	Коэффициент пассажиронапряжённости	
Факт	Прогноз		Фактический	При использовании состава модельного ПТС
42	42	2	0.239	0.636
46	41	2	0.261	0.697
40	39	2	0.227	0.606
23	26	1	0.131	0.697
45	42	2	0.256	0.682
42	41	2	0.239	0.636
43	47	2	0.244	0.652
37	41	2	0.210	0.561
40	37	2	0.227	0.606
38	35	2	0.216	0.576
...
Среднее			0.226	0.64

годовая экономия на маршруте, при условии сохранения закономерностей при выполнении остальных рейсов, составит 19512.6 у.е. Всего в гор. Гомеле функционирует 93 автобусных и 29 троллейбусных маршрутов. Если допустить одинаковый экономический эффект на всех маршрутах в результате использования составов модульных ПТС, то суммарная годовая экономия составит 2.38 млн у.е. Ежедневно на линию в гор. Гомеле выходит около 450 единиц пассажирских транспортных средств. Затраты на необходимое оснащение каждого транспортного средства датчиками учёта пассажиропотока составляет около 8000 US\$, а

суммарные затраты на все автобусы и троллейбусы в гор. Гомеле составит 3.6 млн US\$. Предположим, что с учётом создания соответствующего программного обеспечения итоговая сумма составит 4 млн US\$. Тогда при текущем курсе доллара [25], срок окупаемости составит примерно 1.7 года.

4. Обсуждение

При расчёте достаточного количества модулей для выполнения каждого рейса использовались прогнозные значения пассажиронапряжённости. Расчёт коэффициента пассажиронапряжённости производился с использованием фактических данных о пассажиронапряжённости. Поэтому в ряде случаев фактическое значение пассажиронапряжённости превышало вместимость составов модульных ПТС, рассчитанных исходя из прогнозных значений пассажиронапряжённости. Количество таких превышений в общем числе наблюдений составило 13 (7%) для расчётного рейса в прямом направлении и 6 (3%) – в обратном направлении. Среднее значение превышения пассажиронапряжённости над вместимостью состава модульного ПТС составило 0.106 для обратного направления и 0.057 – для прямого. Несмотря на небольшое количество превышений фактической пассажиронапряжённости над вместимостью составов модульных ПТС, а также небольшие значения таких превышений, необходимо направить дальнейшие усилия на повышение точности прогнозирования пассажиронапряжённости.

Кроме того, данная работа выполнялась для одного оборотного рейса, с учётом предположения о достаточности имеющегося парка составов модульных ПТС, а также наличия свободных мест на конечных пунктах для отстоя модулей в периоды спада пассажиронапряжённости. На практике возможны случаи, когда вместимости конечных пунктов будет недостаточно для отстоя всех освободившихся модулей. Кроме того, необходимо учитывать возможность последовательного использования модуля на разных маршрутах, имеющих один и тот же конечный пункт. Это обуславливает необходимость разработки соответствующих способов управления парком составов модульных ПТС с использованием методов оптимизации.

5. Заключение

В статье оценивается экономическая целесообразность предложенного в [17] способа организации работы городского пассажирского транспорта регулярного сообщения. Суть такого предложения заключается в оснащении пассажирских транспортных средств города датчиками подсчёта пассажиров. Накопленные таким образом для каждого рейса каждого маршрута

данные по пассажиронапряжённости, а также ежедневные сведения о погодных условиях предлагается использовать для прогнозирования пассажиронапряжённости на каждый рейс каждого маршрута на следующий день. На основании полученных таким образом прогнозных данных о пассажиронапряжённости предлагается назначать на каждый рейс каждого маршрута состав модульных ПТС, обеспечивающий максимальное соответствие его вместимости имеющейся пассажиронапряжённости.

Для предварительной оценки предложенного способа организации работы пассажирского транспорта регулярного сообщения в статье выполнен анализ данных об изменении пассажиронапряжённости на 25-м автобусном маршруте гор. Гомеля (Беларусь) при выполнении рейса началом в 7:00 с остановочного пункта «Ратон». Такие наблюдения велись в течение календарного года. Общий объем выборки, с учётом дней нахождения автобуса в ремонте и обслуживании, составил 183 наблюдения (рис. 2, 3). Показано наличие неравномерности величины пассажиронапряжённости при выполнении одного и того же рейса (рис. 4). Установлено, что на величину пассажиронапряжённости влияют день недели, месяц года, тип дня недели («Рабочий», «Выходной», «Предпраздничный»), прогноз и вид осадков, прогнозируемые ночные и дневные температуры. Это показывает возможную целесообразность организации работы составов модульных ПТС, вместимость которых можно изменять в зависимости от величины пассажиронапряжённости (рис. 1).

Рассчитан оптимальный состав модульного ПТС, состоящий максимум из трех модулей вместимостью каждого по 33 пассажира (табл. 1, 2). В результате использования методов интеллектуального анализа данных получена модель, позволяющая прогнозировать значения пассажиронапряжённости для каждого рейса. С применением такой модели получен прогноз значения пассажиронапряжённости для прямого и обратного рейсов рассматриваемого маршрута. На основании прогнозных значений пассажиронапряжённости моделировалась работа составов модульных ПТС с учётом изменения их вместимости в соответствии с прогнозным значением пассажиронапряжённости (табл. 3). Установлено, что использование составов модульных ПТС позволяет повысить окупаемость работы на данном оборотном рейсе на 39% (с 79.8% до 110.6%), а также снизить себестоимость выполнения оборотного рейса на 41% (с 7.74 у.е. до 4.59 у.е.) (табл. 4). Реализация предлагаемой схемы организации работы городского пассажирского транспорта в гор. Гомеле, основанной на использовании составов модульных ПТС, позволит сэкономить порядка 2.38 млн у.е. в год. Ориентировочный срок окупаемости такого проекта не превышает двух лет.

Список литературы

1. Белокуров В.П., Мотузка Д.А., Артемов А.Ю. Повышение эффективности эксплуатации автотранспорта при осуществлении сезонных пассажирских перевозок в городах курортных зон // Технология колёсных и

- гусеничных машин. 2015. № 3. С. 25-33.
2. Kampf R., Stopka O., Bartuška L., Zeman K. Circulation of Vehicles as an Important Parameter of Public Transport Efficiency // Proceedings of the 19th International Scientific Conference on Transport Means. Kaunas University of Technology, 2015. pp. 143-146.
 3. Хвостов А.А., Шишилова Е.А., Ребриков Д.И. Планирование и обработка результатов исследования пассажиропотока в рамках маршрута // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. 2013. № 2. С. 97-102.
 4. Medvid' P., Gogola M., Kubalák S. Occupancy of Public Transport Vehicles in Slovakia // Transportation Research Procedia. 2020. Vol. 44. pp. 153-159. <https://www.doi.org/10.1016/j.trpro.2020.02.022>.
 5. Петров А.И., Абдулмажидов А.М. Исследование приспособленности системы городского пассажирского автомобильного транспорта Нефтеюганска к неравномерности пассажиропотоков // Научно-практический семинар Международной выставки - ярмарки "Город-2002", "АЗС комплекс -2002", "Автосалон-2002". Тюмень, 2002.
 6. Аземша С.А., Грищенко Т.В., Ясинская О.О. Исследование наполняемости автобусов при городских перевозках пассажиров в г. Могилеве // Вестник Полоцкого государственного технического университета. Серия В «Промышленность. Прикладные науки». 2020. № 11. С. 62-69.
 7. Ponte C., Melo H.P.M., Caminha C., Andrade J.S., Furtado V. Traveling Heterogeneity in Public Transportation // EPJ Data Science. 2018. Vol. 7.No. 1. <https://www.doi.org/10.1140/epjds/s13688-018-0172-6>.
 8. Adra N., Michaux J.-L., André M. Analysis of the Load Factor and the Empty Running Rate for Road Transport. Artemis - Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory Systems, 2004. 31 p. URL: <https://hal.science/hal-00546125> (дата обращения: 16.08.2019).
 9. Average Vehicle Occupancy Factors for Computing Travel Time Reliability Measures and Total Peak Hour Excessive Delay Metrics [Электронный ресурс]. URL: https://www.fhwa.dot.gov/tpm/guidance/avo_factors.pdf (дата обращения: 19.12.2023).
 10. Скиркоцкий С.В. Исследование влияния факторов на результативность работы городского пассажирского маршрутизированного транспорта // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. 2017. No. 1. pp. 30-35.
 11. 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. Vol. 16. No. 3. pp. 264-275. <https://www.doi.org/10.26518/2071-7296-2019-3-264-275>.
 12. Гозбенко В.Е., Крипак М.Н., Лебедева О.А., Каргапольцев С.К. Повышение эффективности функционирования транспортной сети городского пассажирского транспорта путём применения автоматизации модели выбора оптимального подвижного состава // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2017. № 2. С. 203-208.
 13. Shviatsova A.V., Prolisko E.E., Shuts V.N. Planning and Organization of the Transportation Process in the Passenger Information and Transportation System // Mathematical Methods in Technologies and Technics. 2021. No. 4. pp. 111-118. https://www.doi.org/10.52348/2712-8873_MMTT_2021_4_111.
 14. Azemsha S.A. Development of Proposals to Improve the Efficiency of Public Urban Passenger Transport // The Russian Automobile and Highway Industry Journal. 2019. Vol. 16. No. 5. pp. 544-557. <https://www.doi.org/10.26518/2071-7296-2019-5-544-557>.
 15. Аземша С.А. Определение статистической связи между параметрами пассажиропотока и маршрута при городских перевозках пассажиров в регулярном сообщении // Логистический аудит транспорта и цепей поставок. / Под ред. С.А. Эртман. Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2019. С. 8-15.
 16. Azemsha S., Yankovich S., Petrov A. Evaluation of the Potential to Increase Return on Work Urban Passenger Transport Daily Passenger Volume Forecast // Herald of Polotsk State University. Series B. Industry. Applied Sciences. 2023. No. 2. pp. 41-49. <https://www.doi.org/10.52928/2070-1616-2023-48-2-41-49>.
 17. Azemsha S., Yankovich S. Increasing the Efficiency of Passenger Traffic by Regular Public Transport According to Passenger Flow Variations // Herald of Polotsk State University. Series B. Industry. Applied Sciences. 2023. Vol. 47. No. 1. pp. 65-70. <https://www.doi.org/10.52928/2070-1616-2023-47-1-65-70>.
 18. StatSoft. STATISTICA 13.3 [Электронный ресурс]. URL: <https://statsoft-statistica.ru/> (дата обращения: 19.12.2023).
 19. Veaux R.D. de, Ungar L.H. Multicollinearity: A tale of two nonparametric regressions. // Selecting Models from Data / S. Fienberg [et al.]. New York, NY: Springer New York, 1994. pp. 393-402. https://www.doi.org/10.1007/978-1-4612-2660-4_40.
 20. P. Obite C., P. Olewuezi N., U. Ugwuanyim G., C. Bartholomew D. Multicollinearity Effect in Regression Analysis: A Feed Forward Artificial Neural Network Approach // Asian Journal of Probability and Statistics. 2020. pp. 22-33. <https://www.doi.org/10.9734/ajpas/2020/v6i130151>.

21. Landi A., Piaggi P., Laurino M., Menicucci D. Artificial Neural Networks for nonlinear regression and classification // 2010 10th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications (ISDA). Cairo, Egypt: IEEE, 29.11.2010 - 01.12.2010. pp. 115-120. <https://www.doi.org/10.1109/ISDA.2010.5687280>.
22. Gaffoor Z., Pietersen K., Jovanovic N., Bagula A., Kanyerere T., Ajayi O., Wanangwa G. A Comparison of Ensemble and Deep Learning Algorithms to Model Groundwater Levels in a Data-Scarce Aquifer of Southern Africa // *Hydrology*. 2022. Vol. 9. No. 7. pp. 125. <https://www.doi.org/10.3390/hydrology9070125>.
23. Azemsha S.A. Substantiation of the Optimal Capacity of a Module as Part of a Passenger Vehicle for Scheduled Urban Transportation // *Transport of the Urals*. 2023. No. 2. pp. 71-78. <https://www.doi.org/10.20291/1815-9400-2023-2-71-78>.
24. Аземша С.А., Скирко́вский С.В., Сушко С.В. Автомобильные перевозки пассажиров и грузов: Практикум. Гомель: Белорусский государственный университет транспорта, 2012. 205 с.
25. Национальный банк Республики Беларусь [Электронный ресурс]. URL: <https://www.nbrb.by/> (дата обращения: 11.09.2003).

References

1. Belokurov V.P., Motuzka D.A. and Artemov A.Yu. 2015. Improving the Passenger Vehicles Efficiency of Operation in Seasonal Traffic in the Cities of Resort Areas. *Technology of Wheeled and Tracked Machines*, No. 3, pp. 25–33. (In Russ.).
2. Kampf R., Stopka O., Bartuška L. and Zeman K. 2015. Circulation of Vehicles as an Important Parameter of Public Transport Efficiency, *International Scientific Conference on Transport Means*. Kaunas, pp. 143–146.
3. Khvostov A.A., Shipilova E.A. and Rebrikov D.I. 2013. Planning and Processing of Research Results of The Passenger Traffic within the Route. *Information Technologies in Construction, Social and Economic Systems*, No. 2, pp. 97–102. (In Russ.).
4. Medvid' P., Gogola M. and Kubařák S. 2020. Occupancy of Public Transport Vehicles in Slovakia. *Transportation Research Procedia*, Vol. 44, pp. 153–59.
5. Petrov A.I. and Abdulmazhidov A.M. 2002. Research of Adaptability of Nefteyugansk Urban Passenger Road Transport System to Unevenness of Passenger Flows, *Transport Complex - 2002*. Tyumen Industrial University.
6. Azemsha S., Hryshchanka T. and Yasinskaya V. 2020. Research Buses Occupancy Rate in Mogilev. *Herald of Polotsk State University. Series B. Industry. Applied Sciences*, No. 11, pp. 62–69. (In Russ.).
7. Ponte C., Melo H.P.M., Caminha C., Andrade J.S. and Furtado V. 2018. Traveling Heterogeneity in Public Transportation. *EPJ Data Sci.*, Vol.7, No.1.
8. Adra N., Michaux J.-L. and André M. 2004. *Analysis of the Load Factor and the Empty Running Rate for Road Transport. Artemis - Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory Systems*.
9. *Average Vehicle Occupancy Factors for Computing Travel Time Reliability Measures and Total Peak Hour Excessive Delay Metrics*. https://www.fhwa.dot.gov/tpm/guidance/avo_factors.pdf (Accessed 19 December 2023).
10. Skirkouski S.U. 2017. Research of Influence Factors on the Performance of the Urban Passenger Transport Routed. *Bulletin of BSUT: Science and Transport*, No. 1, pp. 30–35. (In Russ.).
11. Ryabov I.M. and Kashmanov R.Ya. 2019. Improving the Organization of Passenger Service on the Route by Using Buses of Different Capacity. *Vestn. SibADI*, Vol. 16, No. 3, pp. 264–75. (In Russ.).
12. Gozbenko V.E., Kripak M.N., Lebedeva O.A. and Kargapol'tsev S.K. 2017. Improvement in the Functioning of Transport Network of Urban Passenger Transport by Using Automation of Optimal Rolling Stock Selection Model. *Modern Technologies. System Analysis. Modeling*, No. 2, pp. 203–08. (In Russ.).
13. Shviatsova A.V., Prolisko E.E. and Shuts V.N. 2021. Planning and Organization of the Transportation Process in the Passenger Information and Transportation System. *Mathematical Methods in Technologies and Technics*, No. 4, pp. 111–18. (In Russ.).
14. Azemsha S.A. 2019. Development of Proposals to Improve the Efficiency of Public Urban Passenger Transport. *Vestn. SibADI*, Vol. 16, No. 5, pp. 544–57. (In Russ.).
15. Azemsha S.A. 2019. Determination of the Statistical Relationship Between Passenger Flow and Route Parameters in Urban Passenger Transportation in Regular Service. S.A. Ertman (ed.), *Logistic audit of transportation and supply chains*. Tyumen, Tyumen Industrial University, pp. 8–15. (In Russ.).
16. Azemsha S., Yankovich S. and Petrov A. 2023. Evaluation of the Potential to Increase Return on Work Urban Passenger Transport Daily Passenger Volume Forecast. *Herald of Polotsk State University. Series B. Industry. Applied Sciences*, No. 2, pp. 41–49. (In Russ.).
17. Azemsha S. and Yankovich S. 2023. Increasing the Efficiency of Passenger Traffic by Regular Public Transport According to Passenger Flow Variations. *Herald of Polotsk State University. Series B. Industry. Applied Sciences*, Vol. 47, No. 1, pp. 65–70. (In Russ.).
18. StatSoft. *STATISTICA 13.3*. <https://statsoft-statistica.ru/> (Accessed 19 December 2023).
19. Veaux R.D. de and Ungar L.H. 1994. Multicollinearity: A tale of two nonparametric regressions. S. Fienberg, J. Gani,

- K. Krickerberg, I. Olkin, N. Wermuth, P. Cheeseman and R. W. Oldford (eds), *Selecting Models from Data*, Vol. 89. New York, NY, Springer New York (Lecture Notes in Statistics), pp. 393–402.
20. P. Obite, C., P. Olewuezi, N., U. Ugwuanyim, G. and C. Bartholomew, D. 2020. Multicollinearity Effect in Regression Analysis: A Feed Forward Artificial Neural Network Approach. *AJPAS*, pp. 22–33.
21. Landi, A., Piaggi, P., Laurino, M. and Menicucci, D. 2010. Artificial Neural Networks for nonlinear regression and classification, *2010 10th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications*, IEEE , pp. 115–120.
22. Gaffoor, Z., Pietersen, K., Jovanovic, N., Bagula, A., Kanyerere, T., Ajayi, O. and Wanangwa, G. 2022. A Comparison of Ensemble and Deep Learning Algorithms to Model Groundwater Levels in a Data-Scarce Aquifer of Southern Africa. *Hydrology*, Vol. 9, No. 7, p. 125.
23. Azemsha S.A. 2023. Substantiation of the Optimal Capacity of a Module as Part of a Passenger Vehicle for Scheduled Urban Transportation. *Transport of the Urals*, No. 2, pp. 71–78. (In Russ.).
24. Azemsha S.A., Skirkovskiy S.V. and Sushko S.V. 2012. *Automobile transportation of passengers and cargoes. Practicum*. Textbook - 2nd edition, revision. Gomel, Belarusian State University of Transport. (In Russ.).
25. *The National Bank of the Republic of Belarus*. <https://www.nbrb.by/> (Accessed 11 September 2003).