

УДК 656.13

DOI 10.52928/2070-1616-2023-47-1-65-70

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК ГОРОДСКИМ ТРАНСПОРТОМ РЕГУЛЯРНОГО СООБЩЕНИЯ С УЧЕТОМ КОЛЕБАНИЙ ПАССАЖИРОПОТОКА

*канд. техн. наук, доц. С.А. АЗЕМША, С.Ю. ЯНКОВИЧ
(Белорусский государственный университет транспорта, Гомель)*

Транспортный спрос, оцениваемый величиной пассажиропотока, является основополагающим фактором при организации перевозочного процесса. При городских перевозках пассажиров в регулярном сообщении размер пассажиропотока на маршруте определяет количество пассажирских транспортных средств, их вместимость, расписание движения. Создание условий, при которых вместимость пассажирских транспортных средств будет максимально приближаться к величине пассажиропотока на каждом рейсе каждого маршрута, позволит снизить затраты на оказание услуг общественным транспортом без ухудшения их качества. В данной статье предлагается концепция новой технологии организации пассажирских перевозок в городском регулярном сообщении, основанная на ежедневном прогнозировании на каждом рейсе каждого маршрута параметра пассажиропотока, определяющего необходимую вместимость пассажирских транспортных средств, и назначение на этой основе соответствующей композиции модулей транспортных средств для перевозки пассажиров.

Ключевые слова: *пассажиропоток, пассажирский модуль, неравномерность, прогнозирование, вместимость.*

Введение. Величина пассажиропотока на маршруте оказывает решающее влияние на организацию работы пассажирского общественного транспорта: количество выпускаемых транспортных средств, их вместимость, интервалы движения. Поэтому максимальный учет актуальной информации о пассажиропотоке, динамике его изменений и влияющих на него факторах является основой снижения затрат и повышения качества пассажирских перевозок.

Основная часть. Анализ неравномерности пассажиропотока при пассажирских перевозках в научной литературе уделено немало внимания.

Так, к примеру, в [1, с. 30] показана модель временного ряда (тренда) годового пассажиропотока от фактора времени. Авторы используют ряд Фурье для анализа и прогнозирования внутригодовых колебаний моделью сезонной волны (сезонных колебаний). На основании полученных таким образом прогнозных данных по пассажиропотоку даны рекомендации мероприятий по обеспечению рентабельности работы: увеличить тариф, снизить вместимость работающего на маршруте автобуса, увеличить интервал движения.

В работе¹ в рамках научного проекта «Методология оценки интенсивности движения в городах», финансируемого агентством технологий Чешской Республики, предлагается ежедневно на основании данных о существующем спросе на транспортные услуги и сведений об имеющемся в автопредприятии подвижном составе решать транспортную задачу с целью оптимального распределения автомобильных транспортных средств по маршрутной сети. Для этого следует:

- 1) рассчитать транспортные корреспонденции;
- 2) установить маршруты движения;
- 3) выбрать транспортные средства для работы на маршрутах;
- 4) составить расписание движения автобусов на маршрутах;
- 5) разработать планы работы водителей на маршрутах.

При этом допускается возможность осуществления перевозки одним и тем же автобусом на разных маршрутах, в т.ч. на маршрутах разных сообщений.

Конечно, такой подход к планированию работы автотранспортного предприятия позволит повысить эффективность использования во времени автобусов. Однако для его реализации необходимо знать объемы перевозок, а точнее, корреспонденции пассажиров. Как получить такие данные, авторы умалчивают. Кроме того, выполнение п. 2 вышеназванного алгоритма может привести к образованию новых маршрутов. Но реализация нового маршрута на следующий день после получения информации о его необходимости представляется невозможным.

¹ Circulation of Vehicles as an Important Parameter of Public Transport Efficiency. URL: https://www.researchgate.net/publication/293743648_Circulation_of_Vehicles_as_an_Important_Parameter_of_Public_Transport_Efficiency?enrichId=rgreq-37625068ec8741e8087a503f56c56e97-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzI5Mzc0MzY0ODtBUzozMjc0OTUzNjM2NDU0NDNBAMTQ1NTA5MjM4NzY3Mw%3D%3D&el=1_x_3&_esc=publicationCoverPdf

В [2] отмечается, что факторами, влияющими на величину пассажиропотока на маршруте, являются: час суток, день недели и сезон года. Величины пассажиропотока на маршруте сильно варьируются по дням недели и часам суток (рисунок 1). Кроме того, наибольший разброс в средних значениях пассажиропотока наблюдался в периоды его спада. При этом в часы пик разброс относительно среднего наименьший (рисунок 2).

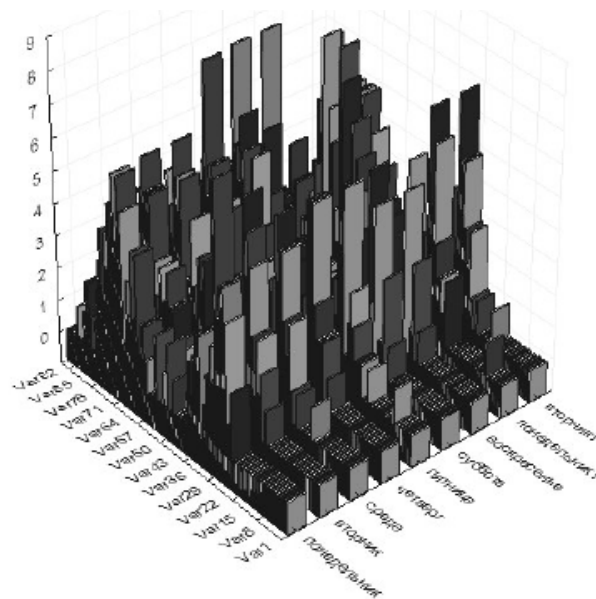


Рисунок 1. – Гистограмма распределения пассажиропотока по дням недели и времени суток [2, с. 100]

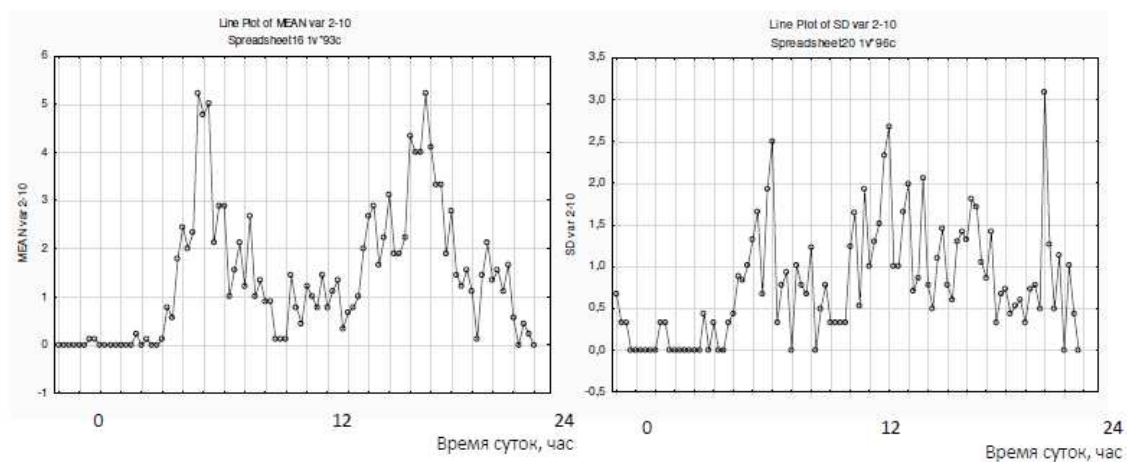


Рисунок 2. – Матожидание и стандартное отклонение пассажиропотока на маршруте по часам суток [2, с. 101]

В [3] исследуется уровень наполняемости общественного пассажирского транспорта в Словакии. Авторы отмечают, что изменения спроса создают проблемы для перевозчиков, принимающих решения о назначении для работы на маршруте транспортных средств определенной вместимости. Аналогичные трудности появляются и при закупке пассажирских транспортных средств разной вместимости. По мнению авторов, избыточные мощности в пиковое время представляют собой ненужные расходы. Важно, чтобы перевозчик также рассчитывал на небольшую долю неиспользованных мощностей, особенно когда спрос увеличивается. Это позволит удовлетворить спрос постоянных и потенциальных новых пассажиров, которые не будут разочарованы из-за загруженности автобусов. Приемлемый средний уровень занятости в час пик должен составлять 85–90%. Авторы проанализировали наполняемость троллейбусов на четырех городских троллейбусных маршрутах. Общее количество исследуемых рейсов составило 631. Результаты исследования наполняемости представлены в виде графиков (рисунок 3).

Согласно приведенным графикам средняя степень использования вместимости на рассмотренных маршрутах составляет 33,43% для одиночных транспортных средств и 31,83 для сочлененных. Исходя из этого, было бы целесообразно провести перераспределение работы троллейбусов разной вместимости. В качестве будущих перспективных способов решения обозначенной в статье проблемы может стать модель, которая будет

обновляться в течение определенного периода из-за возможных изменений пассажиропотока. Таким образом, перевозчик может соответствующим образом реагировать на изменения спроса, используя подходящее транспортное средство, сократив при этом время перевозки пассажира и себестоимость перевозки.

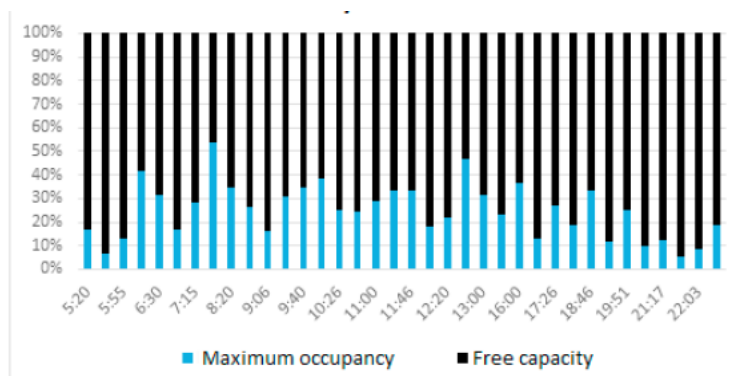
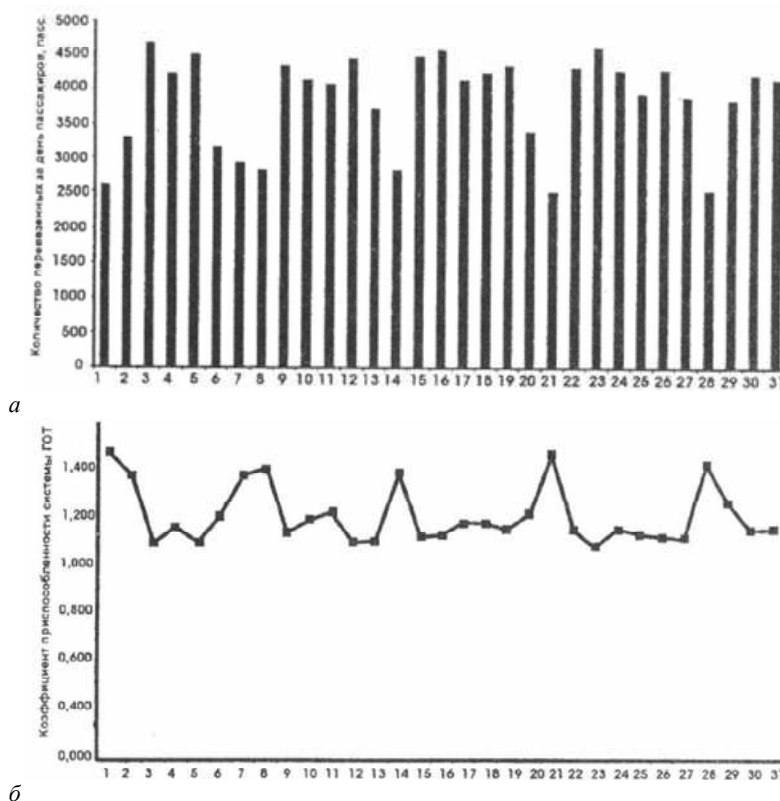


Рисунок 3. – Пример построения графика максимальной вместимости троллейбусов

В работе² представлены исследования пассажиропотока по каждому рейсу одного из автомобильных перевозчиков г. Нефтеюганска в течение 2001 г. На основании полученных данных был определен коэффициент, показывающий соотношение используемых перевозчиком ресурсов и потребностей жителей в перевозках. Авторы привели диаграммы изменения этих показателей на одном маршруте (рисунок 4).



а – количество перевезенных пассажиров за день; б – коэффициент приспособленности системы общественного транспорта к потребностям населения в перевозках

Рисунок 4. – Результаты оценки неравномерности пассажиропотока на маршруте № 3 в январе² [с. 156]

² Петров А.И., Абдулмажидов А.М. Исследование приспособленности системы городского пассажирского автомобильного транспорта Нефтеюганска к неравномерности пассажиропотоков // Транспортный комплекс-2002 : Материалы науч.-практ. семинара Междунар. выставки-ярмарки «Город-2002», «АЗС комплекс-2002», «Автосалон-2002» / Тюмень (21–24 мая 2002 г.). – Тюмень: Тюм. гос. нефтегаз. ун-т, 2002. – С. 154–156.

Для дней недели, в которых значения коэффициента приспособленности системы общественного транспорта к потребностям населения в перевозках больше чем 1,2, авторы предлагают уменьшить количество выпускаемых на линию автобусов.

В [4] проведена аналитическая работа, позволившая определить статистические характеристики критериев оценки степени использования вместимости автобусов (троллейбусов) в ряде городов Республики Беларусь. В качестве критериев оценки степени использования вместимости автобусов (троллейбусов) названы:

- средняя наполняемость за рейс (N_p), пасс., – отношение выполненных за рейс пассажирокилометров к длине рейса;
- коэффициент рейсовой вместимости ($K_{рвм}$) – отношение выполненных за рейс пассажирокилометров транспортной работы к максимально возможной транспортной работе, определяемой произведением вместимости автобуса и расстоянием поездки;
- коэффициент пассажиронапряженности (K_n) – отношение максимального пассажиропотока за рейс (пассажиронапряженности) к вместимости автобуса.

Было установлено, что имеются значимые различия в приведенных выше критериях оценки степени использования вместимости автобусов (троллейбусов) по маршрутам их работы по дням недели, часам суток. Кроме того, средняя эффективность использования вместимости пассажирских транспортных средств составляет порядка 30%, что согласуется с данными, приведенными в [3]. На основании этого сделан вывод о целесообразности применения научных подходов к совершенствованию методики назначения пассажирских транспортных средств разной вместимости на маршруты и их конкретные рейсы с учетом мощности имеющегося пассажиропотока. Реализация такого подхода была показана в [5]. При этом предложено использование модульных транспортных средств, что позволяет отцеплять модули в период спада пассажиропотока и наращивать их количество в период его подъема. Также в работе доказано влияние критериев оценки степени использования вместимости пассажирских транспортных средств на процент окупаемости их работы.

Проведенный краткий анализ показывает, что в литературе не рассматриваются конкретные факторы, влияющие на пассажиропоток на каждом рейсе каждого маршрута, в т.ч. нет формализованной модели такой зависимости. Значит, невозможен прогноз параметров пассажиропотоков. Реализация мероприятий по данным ретроспективных наблюдений за пассажиропотоками не учитывает изменения полученных моделей, следовательно, и неэффективна для управления в будущем. Кроме того, предлагаемые в рассмотренных литературных источниках мероприятия имеют следующие потенциальные негативные аспекты:

- увеличение тарифа не опирается на нормативную базу перевозки пассажиров в регулярном городском сообщении, а также чревато оттоком части пассажиров;
- снижение вместимости транспортных средств, работающих на маршрутах, подразумевает наличие парка разных по вместимости моделей транспортных средств, а, следовательно, и производственных мощностей для их ремонта, склада запасных частей. Кроме того, очевидно, что транспортные средства той вместимости, которая в данный момент времени не востребована, будут простаивать без выполнения полезной работы;
- увеличение интервала движения повлечет за собой рост времени ожидания пассажирами и, как результат, снижение качества предоставляемых услуг с последующим оттоком части пассажиров.

В сложившихся и описанных выше условиях представляется целесообразным ежедневно прогнозировать значения критериев оценки степени использования вместимости на каждом рейсе каждого маршрута с последующим назначением на этой основе состава модульных транспортных средств. Для этого необходимо постоянно пополнять информацию о пассажиропотоке на каждом рейсе, факторах, на него влияющих, а также знать соответствующие математические модели, описывающие такое влияние. Предлагаемая технология организации работы модульных пассажирских транспортных средств приведена на рисунке 5.

На этом рисунке представлен пример маршрутной сети, состоящей из 1, 2, ..., N маршрутов. Расписание движения на каждом из маршрутов известно, но изменению не подлежит. Также полагаются известными факторы, влияющие на пассажиропоток на каждом рейсе каждого маршрута (предположительно, это погодные условия, день недели, месяц года). Кроме того, должны быть известны аналитические выражения, показывающие влияние таких факторов на величину пассажиропотока на каждом рейсе каждого маршрута. Приведенная на рисунке 5 технология организации работы пассажирских транспортных средств на городских маршрутах регулярного сообщения предполагает ежедневное прогнозирование на основе имеющихся входных данных максимального пассажиропотока на каждом рейсе каждого маршрута и на этой основе назначение композиции из модулей пассажирских транспортных средств, обеспечивающих вместимость, удовлетворяющую условию

$$V_m \cdot N_m - Q_{рм} \rightarrow 0, \quad (1)$$

где V_m – вместимость одного модуля, пасс.;

N_m – количество модулей в композиции на данном рейсе данного маршрута, ед.;

$Q_{рм}$ – максимальное количество пассажиров на перегоне, перевезенное на данном рейсе данного маршрута, пасс.

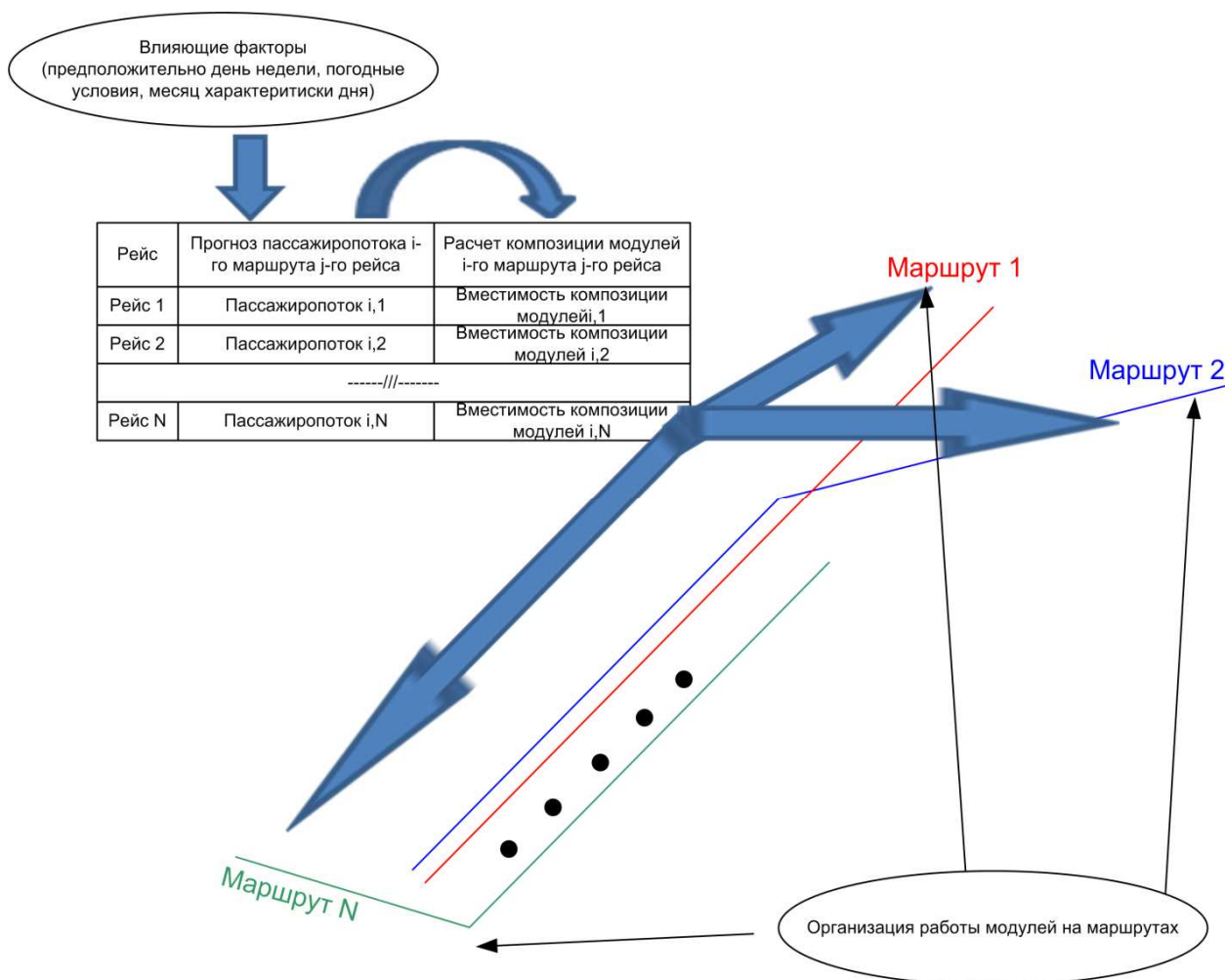


Рисунок 5. – Предполагаемая технология организации работы пассажирских транспортных средств на городских маршрутах регулярного сообщения

Первым этапом реализации предложенной технологии организации работы пассажирских транспортных средств на городских маршрутах регулярного сообщения является сбор данных о максимальном количестве пассажиров на перегоне, перевезенном на данном рейсе на данном маршруте (Q_{pm}), и факторов, влияющих на эту величину, с последующим установлением вида такой зависимости.

Заключение. Отмечена роль пассажиропотока и важность подстройки под него вместимости пассажирских транспортных средств. Краткий анализ литературы показал изменчивость пассажиропотока по часам, дням недели, сезонам. Однако в литературе не приведены конкретные факторы, влияющие на пассажиропоток на данном конкретном рейсе, в т.ч. нет формализованной модели этой зависимости. В таких условиях невозможно осуществлять прогноз параметров пассажиропотоков, а реализация мероприятий по подгону вместимости пассажирских транспортных средств к мощности пассажиропотока по данным ретроспективных наблюдений за пассажиропотоками не учитывает возможность изменения таких ретроспективных моделей. Все это приведет к снижению эффективности управления общественным транспортом в перспективе. Кроме того, предлагаемые в рассмотренных литературных источниках мероприятия имеют ряд негативных последствий.

Авторами статьи рекомендуется новая технология организации работы пассажирских транспортных средств на городских маршрутах регулярного сообщения, которая предполагает наличие ретроспективных данных о максимальном пассажиропотоке на каждом рейсе каждого маршрута и факторах, влияющих на него, а также соответствующих формализованных зависимостях, описывающих такое влияние. На основании таких данных предлагается ежедневно прогнозировать максимальный пассажиропоток на каждом рейсе каждого маршрута и на этой основе назначать композиции из модулей пассажирских транспортных средств, обеспечивающих максимальное соответствие вместимости и мощности пассажиропотока.

Отмечено, что следующим шагом научных исследований является сбор данных о максимальном количестве пассажиров на перегоне, перевезенном на данном рейсе на данном маршруте, и факторов, влияющих на эту величину, с последующим установлением вида такой зависимости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белокуров В.П., Мотузка Д.А., Артемов А.Ю. Повышение эффективности эксплуатации автотранспорта при осуществлении сезонных пассажирских перевозок в городах курортных зон // Технология колес. и гусенич. машин. – 2015. – № 3 (19). – С. 25–33.
2. Хвостов А.А., Шипилова Е.А., Ребриков Д.И. Планирование и обработка результатов исследования пассажиропотока в рамках маршрута / Науч. вестн. Воронеж. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. Информац. технологии в строит., соц. и экон. системах. – 2013. – № 2. – С. 97–102.
3. Medvid' Peter, Gogola Marián and Kubal'ák Stanislav. Occupancy of Public Transport Vehicles in Slovakia // Transportation Research Procedia. – 2020. – № 44 (3A). – P. 153–159. DOI: 10.1016/j.trpro.2020.02.022
4. Аземша С.А., Грищенко Т.В., Ясинская Т.В. Исследование наполняемости автобусов при городских перевозках пассажиров в г. Могилеве // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В, Пром-сть. Приклад. науки. – 2020. – № 11. – С. 62–69.
5. Аземша С.А. Разработка предложений по повышению эффективности работы общественного городского пассажирского транспорта // Вестн. СибАДИ. – 2019. – № 16 (5). – С. 544–557. DOI: 10.26518/2071-7296-2019-5-544-557

REFERENCES

1. Belokurov, V.P., Motuzka, D.A. & Artemov, A.Yu. (2015). Povyshenie effektivnosti ekspluatatsii avtotransporta pri osu-shchestvlenii sezonnykh passazhirskikh perezovok v gorodakh kurortnykh zon [Improving the efficiency of motor transport operation in the implementation of seasonal passenger transportation in the cities of resort areas]. *Tekhnologiya kolesnykh i gusenichnykh mashin [Technology of wheeled and tracked vehicles]*, 3 (19), 25–33. (In Russ., abstr. in Engl.)
2. Khvostov, A.A., Shipilova, E.A. & Rebrikov D.I. (2013). Planirovanie i obrabotka rezul'tatov issledovaniya passazhiropotoka v ramkakh marshruta [Planning and processing the results of a study of passenger traffic within the route]. *Nauchnyi vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Informatsionnye tekhnologii v stroitel'nykh, sotsial'nykh i ekonomicheskikh sistemakh [Scientific Bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Information technologies in construction, social and economic systems]*, (2), 97–102. (In Russ., abstr. in Engl.)
3. Medvid', P., Gogola, M. & Kubal'ák, S. (2020). Occupancy of Public Transport Vehicles in Slovakia. *Transportation Research Procedia*, 44 (3A), 153–159. DOI: 10.1016/j.trpro.2020.02.022
4. Azemsha, S.A., Grishchenko, T.V. & Yasinskaya, O.O. (2020). Issledovanie napolnyaemosti avtobusov pri gorodskikh perezovkakh passazhirov v g. Mogilev [Study of the occupancy of buses in urban transportation of passengers in the city of Mogilev]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya V, Promyshlennost'. Prikladnye nauki [Bulletin of the Polotsk State University. Series B, Industry. Applied Science]*, 11, 62–69. (In Russ., abstr. in Engl.)
5. Azemsha, S.A. (2019). Razrabotka predlozhenii po povysheniyu effektivnosti raboty obshchestvennogo gorodskogo passazhirsko-go transporta [Development of proposals to improve the efficiency of public urban passenger transport]. *Vestnik SibADI [Bulletin of SibADI]*, 16 (5), 544–557. DOI: 10.26518/2071-7296-2019-5-544-557 (In Russ., abstr. in Engl.)

Поступила 16.12.2022

**INCREASING THE EFFICIENCY OF PASSENGER TRAFFIC
BY REGULAR PUBLIC TRANSPORT
ACCORDING TO PASSENGER FLOW VARIATIONS**

S. AZEMSHA, S. YANKOVICH
(Belarusian State University of Transport, Gomel)

The amount of transport demand, estimated by the amount of passenger traffic, is a fundamental factor for the organization of the transportation process. In urban transportation of passengers in regular traffic, the size of the passenger flow on the route determines the number of passenger vehicles, their capacity, and the timetable. Creation of conditions under which the capacity of passenger vehicles will be as close as possible to the amount of passenger traffic on each flight of each route will reduce the cost of providing public transport services without compromising the quality of such services. This article proposes the concept of a new technology for organizing passenger transportation in urban regular traffic, based on daily forecasting on each flight of each route of the passenger flow parameter that determines the required capacity of passenger vehicles, and on that basis, assigning the appropriate composition of vehicle modules for passenger transportation.

Keywords: *passenger traffic, passenger module, unevenness, forecasting, capacity.*