

## ТРАНСПОРТ

Научная статья  
УДК 656.13

<https://doi.org/10.25198/2077-7175-2026-2-90>

### ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД РАСЧЕТА НЕОБХОДИМОГО КОЛИЧЕСТВА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ДЛЯ РАБОТЫ НА МАРШРУТАХ ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА

А. А. Цариков<sup>1</sup>, Д. Г. Неволин<sup>2</sup>

Уральский государственный университет путей сообщения, Екатеринбург, Россия

<sup>1</sup>e-mail: [zarikof@mail.ru](mailto:zarikof@mail.ru)

<sup>2</sup>e-mail: [innotrans@mail.ru](mailto:innotrans@mail.ru)

**Аннотация.** На современном этапе развития российских городов, уровень автомобилизации населения достиг таких значений, когда улично-дорожная сеть практически исчерпала свою пропускную способность. Для решения данной проблемы необходимо развитие городского пассажирского транспорта, в том числе повышение качества обслуживания. При этом наряду с приоритетным пропуском, городской пассажирский транспорт должен быть комфортным и требовать минимальных эксплуатационных затрат. Учитывая вышесказанное, необходим более детальным подбор подвижного состава, используемого на маршруте, а также новые методы расчета его количества.

Одновременно с этим, современные нормативные требования в значительной мере накладывают свои ограничения на режим труда и отдыха водителей. Что усложняет процесс составления расписания работы подвижного состава на линии.

Цель настоящего исследования – разработать современную методику подбора подвижного состава и расчета его необходимого количества в различные часы суток.

Используемые подходы. При разработке необходимого метода был проведен обзор отечественной литературы в части формул и материалов, используемых для выбора подвижного состава на маршруте и расчета его количества. Был проведен их анализ, с точки зрения недостатков, критичных для современных условий перевозки пассажиров.

Результаты. Разработан графоаналитический метод расчета необходимого количества подвижного состава, позволяющий использовать в расчетах автобусы нескольких классов вместимости, принимая во внимание ограничения нормативной документации по режиму труда и отдыха водителей, а также учитывая внутричасовую и часовую неравномерность пассажиропотока.

Дальнейшее исследование предполагается вести в направлении разработки рекомендации по использованию подвижного состава различного класса, в зависимости от значений максимальных пассажиропотоков на маршруте, а также его часовой неравномерности.

**Ключевые слова:** городской пассажирский транспорт, пассажиропоток, структура подвижного состава, коэффициент неравномерности по часам суток.

**Для цитирования:** Цариков А. А., Неволин Д. Г. Графоаналитический метод расчета необходимого количества подвижного состава для работы на маршрутах городского пассажирского транспорта // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2026. – № 2. – С. 90–105. – <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2026-2-90>.



Original article

## GRAPH-ANALYTICAL METHOD FOR CALCULATING THE REQUIRED NUMBER OF ROLLING STOCK FOR OPERATION ON URBAN PASSENGER TRANSPORT ROUTES

A. A. Tsarikov<sup>1</sup>, D. G. Nevolin<sup>2</sup>

Ural State University of Railway Transport, Yekaterinburg, Russia

<sup>1</sup>e-mail: zarikof@mail.ru

<sup>2</sup>e-mail: innotrans@mail.ru

**Abstract.** At the current stage of development of Russian cities, the level of motorization of the population has reached such values when the street and road network has practically exhausted its capacity. To solve this problem, it is necessary to develop urban passenger transport, including improving the quality of service. At the same time, along with priority access, urban passenger transport should be comfortable and require minimal operating costs. Given the above, a more detailed selection of rolling stock used on the route is required, as well as new methods for calculating its quantity.

At the same time, modern regulatory requirements impose significant restrictions on the working and rest schedules of drivers. This complicates the process of scheduling the operation of rolling stock on the line.

The purpose of this study is to develop a modern methodology for selecting rolling stock and calculating its required quantity at different times of the day.

The approaches used. When developing the necessary method, a review of domestic literature was conducted in terms of the formulas and materials used for selecting rolling stock on the route and calculating its quantity. These were analyzed in terms of their shortcomings, which are critical for modern passenger transportation conditions.

Results. A graph-analytical method has been developed for calculating the required number of rolling stock, which allows for the use of buses of several classes of capacity in the calculations. This method takes into account the restrictions imposed by regulatory documents on the work and rest schedules of drivers, as well as the intra-hour and hourly unevenness of passenger traffic.

Further research is expected to be conducted in the direction of developing recommendations for the use of rolling stock of various classes, depending on the values of maximum passenger flows on the route, as well as its hourly unevenness.

**Key words:** urban passenger transport, passenger flow, rolling stock structure, coefficient of unevenness by hours of the day.

**Cite as:** Tsarikov, A. A., Nevolin, D. G. (2026) [Graph-analytical method for calculating the required number of rolling stock for operation on urban passenger transport routes]. *Intellect. Innovacii. Investicii* [Intellect. Innovations. Investments]. Vol. 2, pp. 90–105. – <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2026-2-90>.

### Введение

Жизнь в современных крупных городах Российской Федерации невозможна без развития качественного пассажирского транспорта общего пользования. Рост уровня автомобилизации населения показал, что несмотря на увеличение объема перевозок личным транспортом [9], роль пассажирского транспорта только возрастает [20]. Особенно остро на современном этапе развития пассажирского транспорта обострились проблемы создания приоритетных условий для его движения [6; 8], а также оптимизации интервалов движения автобусов на маршруте [4; 5; 7; 18].

Необходимо отметить, что интервалы движения подвижного состава на маршруте прямым образом сказываются на времени ожидания нужного автобуса, а также на поведении пассажиров [19]. В связи с этим,

особое значение для развития городского пассажирского транспорта приобретают методы определения оптимального парка подвижного состава [16] и составления расписания [10].

В отечественной литературе большинство методов определения оптимальной структуры парка направлено на снижение эксплуатационных затрат перевозчиков и минимизацию времени ожидания. Более подробно указанные методы описаны в работах [1; 2; 12]. Однако все большее распространение получают «специфические» методы, направленные на оптимизацию парка с учетом иных ограничений. Здесь стоит отметить работу [14], учитывающую ограничения пропускной способности основных элементов улично-дорожной сети, исследования [3], рассматривающие использование автобусов на альтернативном топливе,

а также научную статью [11], в основу которой принято использование подвижного состава различной вместимости в разные часы суток.

В зарубежной литературе также используются оригинальные подходы к решению данной задачи. Так в работе [21] изложены предложения по проектированию маршрутных систем с различным числом маршрутов в разные часы суток. Кроме того, в статье [17] рассмотрены предложения по корректировке расписания в реальном режиме времени.

### Обзор существующих методов расчета

Методы расчета оптимального количества подвижного состава, используемого на маршрутах городского транспорта и в системах в целом, рассматривались многими отечественными специалистами.

Одной из наиболее ранних работ в данном направлении можно считать исследования С. Г. Писарева<sup>1</sup>. Для расчета необходимого количества подвижного состава в целом по системе автор рекомендовал следующую формулу (1):

$$q_{инв} = \frac{A_{год} \cdot l_{cp} \cdot \mu}{365V_3 \Omega \Phi \gamma}, \quad (1)$$

где

- $q_{инв}$  – инвентарное количество подвижного состава, ед.;
- $A_{год}$  – количество пассажиров, перевозимых в течение года, пасс.;
- $l_{cp}$  – средняя дальность поездки пассажира, км.;
- $\mu$  – коэффициент сезонной неравномерности;
- $V_3$  – средняя эксплуатационная скорость, км/ч;
- $\Omega$  – средняя номинальная вместимость подвижного состава, пасс.;
- $\Phi$  – среднесуточный коэффициент наполнения подвижного состава;
- $\gamma$  – коэффициент использования подвижного состава (принимается 0,9–0,95).

При этом для расчета необходимого количества состава на конкретном маршруте С. Г. Писаревым предполагалось использовать иную формулу (2):

$$q_{рас} = \frac{t_{об}}{t_{ui}} m, \quad (2)$$

где

- $q_{рас}$  – расчетное число подвижного состава, ед.;
- $t_{об}$  – время движения подвижного состава за один оборотный рейс, ч.;
- $t_{ui}$  – интервал движения подвижного состава  $i$ -го маршрута, ч.;
- $m$  – количество вагонов в составе (для трамваев и троллейбусов, эксплуатируемых по системе многих единиц).

Методика профессора Д. С. Самойлова<sup>2</sup> основана на принципе одинаковых условий перевозок на всех маршрутах городского пассажирского транспорта. Эти условия выражаются схожими значениями интервалов движения и коэффициента вместимости подвижного состава.

Отличительной чертой предложенного Д. С. Самойловым метода является определение удельной плотности поездок по каждому из маршрутов. После получения данного показателя, на основе маршрутных интервалов, принятых в пределах от 2 до 10 минут, производится расчет вместимости подвижного состава.

Стоит отметить, что метод профессора Самойлова больше подходит для прогнозирования необходимого количества подвижного состава в целом по системе, чем для расчета отдельных маршрутов. Учитывая это, в практике его применяли для обоснования необходимого парка подвижного состава для системы в целом, в рамках среднесрочного и долгосрочного планирования.

Развитие пассажирского транспорта в начале 70-х годов XX столетия, а также проводимые исследования в данном направлении привели к уточнению используемых методов расчета. Так в работе Ефремова

<sup>1</sup> Писарев С. Г. Городской транспорт. – Ленинград: изд-во Министерства коммунального хозяйства РСФСР, 1948. – 503 с.

<sup>2</sup> Самойлов Д. С. Научные основы организации пассажирского транспорта в городах: дис. ... д-ра техн. наук. – М., 1972 – 321 с.

И. С., Кобозева В. М., Юдина В. А.<sup>3</sup> в основу расчетов были заложены не только корректировки в части не-

равномерности пассажиропотоков, но и коэффициент надежности в работе подвижного состава:

$$q_i = \frac{F_{\max i} \cdot t_{об} \cdot K_{вч}}{\Omega_i \cdot k_{над}}, \quad (3)$$

где

$q_i$  – расчетное количество подвижного состава, необходимое для обслуживания  $i$ -го маршрута, ед.;  
 $F_{\max i}$  – мощность пассажиропотока в максимально нагруженном сечении  $i$ -го маршрута, пасс./час в одном направлении;

$K_{вч}$  – коэффициент внутрисуточной неравномерности распределения пассажирского потока;

$k_{над}$  – коэффициент надежности, определяемый отношением фактически выполненной транспортной работы к запланированной (принимают в пределах 0,9–0,99).

Формула (3) была несколько уточнена М. Е. Антошвили<sup>4</sup>. Предложенное им выражение представлено ниже:

$$q_i = \frac{F_{\max i} \cdot t_{об} \cdot K_{вч}}{\Omega_i \cdot T \cdot k_{над}}, \quad (4)$$

где

$T$  – период времени, за который представлена информация по  $F_{\max i}$ . (По физической сущности процесса не может быть принят менее интервала между экипажами  $t_{ит}$ , который имел место в период обследования).

В работе Володина Е. П., Громова Н. Н.<sup>5</sup> мощность подвижного состава по конкретному маршруту определяется в зависимости от частоты движения и запланированного количества рейсов, формулы (5, 6):

$$\Omega_i = \frac{F_{\max i} \cdot t_u \cdot L_m}{300 \cdot T_n \cdot V_s \cdot \varphi}, \quad (5)$$

$$q_i = \frac{F_{\max i}}{\Omega_i \cdot \varphi \cdot Z_{об} \cdot K_{см}}, \quad (6)$$

где

$Z_{об}$  – количество оборотных рейсов подвижного состава по маршруту, ед.;

$\Omega_i$  – номинальная вместимость подвижного состава для  $i$ -го маршрута, пасс.;

$K_{см}$  – коэффициент сменности пассажиров в подвижном составе;

$L_m$  – длина маршрута, км;

$t_u$  – продолжительность работы подвижного состава на линии, ч.;

$T_n$  – продолжительность работы подвижного состава на линии, ч.

Исследования С. Ю. Либермана и И. В. Спирина<sup>6</sup> позволили предложить несколько иной подход к расчету подвижного состава. Данный подход основан на вместимости автобуса, которая определяется по нормативным данным в зависимости от мощности пассажиропотока на наиболее нагруженном участке маршрута. Расчетная формула, предложенная вышеуказанными исследователями, представлена ниже:

<sup>3</sup> Ефремов И. С., Кобозев В. М., Юдин В. А. Теория городских пассажирских перевозок: учебное пособие для вузов. – М.: Высш. школа, 1980. – 535 с.

<sup>4</sup> Антошвили М. Е., Варелопуло Г. А., Хрушев М. В. Организация городских автобусных перевозок с применением математических методов и ЭВМ. – М.: Транспорт, 1974. – 103 с.

<sup>5</sup> Володин Е. П., Громов Н. Н. Организация и планирование перевозок пассажиров автомобильным транспортом: учебник для вузов. – М.: Транспорт, 1982 – 224 с.

<sup>6</sup> Спирин И. В., Либерман С. Ю. Скоростное и экспрессное сообщение на городском автобусном транспорте. – М.: ЦБНТИ Минавто-транса РСФСР, 1980. – 42 с.

$$q_i = \frac{A_{сут}^m \cdot k_{ч.с.} \cdot k_{уч}}{T_n \cdot \Omega \cdot K_{см}} \left( \frac{L_m}{V_m} + t_{ос} \right), \quad (7)$$

где

- $A_{сут}^m$  – суточный объем перевозок на маршруте, пасс.;
- $K_{ч.с.}$  – коэффициент неравномерности по часам суток;
- $K_{уч}$  – коэффициент неравномерности по участкам маршрута;
- $V_m$  – техническая скорость на маршруте, км/ч;
- $t_{ос}$  – время простоя на остановках, ч.

В начале XXI века в городах Российской Федерации начался резкий рост количества автобусов малого и особо малого класса, работающих на маршрутах пассажирского транспорта. Это привело к увеличению загрузки улично-дорожной сети городов и перегрузке остановочных пунктов.

Учитывая данный факт, Н. В. Якунина разработала три отдельные методики определения структуры

подвижного состава городского транспорта в зависимости от поставленной задачи, степени детализации исходных данных и имеющихся ресурсов [14].

Первая методика основана на укрупнённом расчете годовой подвижности населения города и определения списочного количества подвижного состава различного класса, необходимого для обслуживания пассажиров в целом по транспортной системе [15], формула (8):

$$q = \frac{0,95 \cdot \Pi_{ср}^{год} \cdot H_{нас} \cdot (1 - K_{макс}) \cdot l_{ср} \cdot K_{неп.н} \cdot (1 + \Delta)}{365 \cdot \Omega_{ср.в} \cdot V_3 \cdot T_n \cdot \varphi \cdot \alpha_a}, \quad (8)$$

где

- $\Pi_{ср}^{год}$  – средняя годовая подвижность населения, поез./год;
- $H_{нас}$  – численность населения города, чел.;
- $K_{макс}$  – доля таксомоторных перевозок в общем пассажирообороте города, %;
- $K_{неп.н}$  – коэффициент неравномерности пассажиропотоков;
- $\Delta$  – показатель, определяющий относительную разность между максимальным и среднечасовым пассажиропотоками;
- $\Omega_{ср.в}$  – средневзвешенная вместимость транспортных средств, пасс.;
- $\alpha_a$  – коэффициент использования автомобилей.

Вторая методика основана на удовлетворении потребности пассажиров в части времени ожидания подвижного состава на остановках, а также ограниче-

ния пропускной способности элементов улично-дорожной сети, формула (9):

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{рег.н} \leq \sum_{i=1}^n \frac{q_i \cdot \gamma_i \cdot V_{ti} \cdot \Omega_i \cdot \alpha_a}{l_{ср} \cdot K_{неп.н}} \\ \frac{\sum_{i=1}^n D_{насси} \cdot q_i}{\sum_{i=1}^n q_i} \leq \frac{L_{удс} \cdot K_{авт} \cdot K_z \cdot K_{нз}}{F_{поезд}} \end{array} \right., \quad (9)$$

где

- $F_{рег.н}$  – пассажиропоток, перевозимый городским транспортом по регулярным маршрутам, пасс.;
- $D_{насси}$  – динамический габарит пассажира  $i$ -го типа транспортного средства, м/пасс.;
- $V_{ti}$  – техническая скорость  $i$ -го типа транспортного средства, км/ч;
- $F_{поезд}$  – пассажиропоток за среднее время поездки, пасс./ч;
- $L_{удс}$  – длина маршрутной городской улично-дорожной сети, м.;
- $K_{авт}$  – коэффициент, определяющий отношение городского подвижного состава маршрутного пассажирского транспорта к общему количеству подвижного состава, проходящего по маршрутной улично-дорожной сети;
- $K_z$  – коэффициент, зависящий от загрузки дороги движением;
- $K_{нз}$  – коэффициент, зависящий от неравномерности загрузки дороги движением на различных участках маршрутной улично-дорожной сети.

В данной методике используется такой показатель как динамический габарит пассажира, который используется для снижения нагрузки на улично-дорож-

ную сеть. Логично, что данный показатель растет по мере увеличения вместимости подвижного состава пассажирского транспорта, формула (10):

$$D_{nacci} = \frac{D_i}{\Omega_i \cdot \varphi_i}, \quad (10)$$

где

$D_i$  – динамический габарит  $i$ -го типа транспортного средства, м/пасс.

Третья методика базируется на второй, однако в ее расчет дополнительно включены нормируемые

интервалы движения транспортных средств каждого маршрута, формула (11):

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{рег.н} \leq \sum_{i=1}^n \frac{q_i \cdot \gamma_i \cdot V_{ii} \cdot \Omega_i \cdot \alpha_a}{l_{cp} \cdot K_{пер.н}} \\ \frac{\sum_{i=1}^n D_{nacci} \cdot q_i}{\sum_{i=1}^n q_i} \leq \frac{L_{удс} \cdot K_{авт} \cdot K_z \cdot K_{нз}}{F_{поезд}} \text{ при} \\ \left| F_{рег.н} - \sum_{i=1}^n F_{Mi} \right| \rightarrow 0 \\ \sum_{i=1}^n q_i = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m q_{ij}^M \end{array} \right. \text{ при} \left\{ \begin{array}{l} \frac{60 \cdot L_{M1}}{q_{M1} \cdot V_{э1}} \leq t_{u1} \\ \frac{60 \cdot L_{M2}}{q_{M2} \cdot V_{э2}} \leq t_{u2} \\ \dots \\ \frac{60 \cdot L_{Mj}}{q_{Mj} \cdot V_{эj}} \leq t_{uj} \end{array} \right. \quad (11)$$

где

$L_{Mj}$  – длина  $i$ -го маршрута в двух направлениях, км.;  
 $q_{ij}$  – количество подвижного состава на  $i$ -м маршруте, ед.;  
 $V_{эj}$  – эксплуатационная скорость  $i$ -го маршрута, км/ч;  
 $t_{uj}$  – интервал движения на  $i$ -м маршруте, мин.

Одновременно с этим, в отечественной литературе наибольшее распространение получил метод расчета, предложенный в работе «Пассажирские автомобильные перевозки»<sup>7</sup>. Ниже представлено описание данного метода.

После проведения исследования пассажиров на искомом маршруте, в соответствии с вышеуказанной методикой проводится расчет необходимой вместимости автобусов в соответствии с формулой (12):

$$\Omega_i = \frac{F_{maxi} \cdot t_{ui max}}{60}, \quad (12)$$

где

$\Omega_i$  – вместимость подвижного состава  $i$ -го маршрута, пасс;  
 $F_{maxi}$  – мощность пассажиропотока в максимально нагруженном сечении  $i$ -го маршрута в час пик, пасс/час в одном направлении;  
 $t_{ui max}$  – принятый интервал движения подвижного состава на линии  $i$ -го маршрута в пиковые часы, мин.;

При этом на основе формулы (12), модели используемых автобусов выбирают по трем вариантам: рациональной, менее рациональной и более рациональной вместимостям. После этого проводится расчет необ-

ходимого количества автобусов в различные часы суток, для каждого из принятых вариантов. Для данного расчета используется формула (13):

<sup>7</sup> Пассажирские автомобильные перевозки: Учеб. для студентов вузов, обучающихся по спец. 240100.01 «Орг. перевозок и упр. на трансп. (Автомоб. трансп.)» направления подгот. дипломир. специалистов 653400 «Орг. перевозок и упр. на трансп.» / В. А. Гудков [и др.]. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 446 с.

$$q_{расij} = \frac{F_{ij} \cdot t_{обj}}{\Omega_{ni}}, \quad (13)$$

где

$q_{расij}$  – расчетное число подвижного состава  $i$ -го маршрута, необходимое для перевозки пассажиров в  $j$ -й час суток, ед.;

$F_{ij}$  – мощность пассажиропотока в максимально нагруженном сечении  $i$ -го маршрута в  $j$ -й час суток, пасс/час в одном направлении;

$t_{обj}$  – время движения подвижного состава за один оборотный рейс  $i$ -го маршрута, ч.;

$\Omega_{ni}$  – номинальная вместимость подвижного состава  $i$ -го маршрута, пасс.

Следующим этапом данного метода является корректировка интервалов движения и расчет необходимого количества автобусов для измененных условий движения. Фактически на данной стадии расчетов принимаются конкретные интервалы движения автобусов для различных периодов суток. Обычно вы-

деляют пиковый период, межпиковый период и часы суток, когда пассажиропоток снижается до минимальных значений. Для расчета необходимого числа автобусов в условиях скорректированных интервалов используются идентичные по виду три отдельные формулы:

$$q_{пикi} = \frac{t_{обi}}{t_{пик.i}}, \quad q_{межпикi} = \frac{t_{обi}}{t_{межпик.i}}, \quad q_{минi} = \frac{t_{обi}}{t_{мин.i}}, \quad (14)$$

где

$q_{пикi}$ ,  $q_{межпикi}$ ,  $q_{минi}$  – скорректированное количество автобусов, необходимых для обслуживания пассажиров  $i$ -го маршрута, соответственно, в пиковый, межпиковый периоды, а также в часы с минимальными значениями пассажиропотоков, ед.;

$t_{пик.i}$ ,  $t_{межпик.i}$ ,  $t_{мин.i}$  – принятые интервалы движения автобусов  $i$ -го маршрута, соответственно, в пиковый, межпиковый периоды, а также в часы с минимальными значениями пассажиропотоков, ч.

После корректировки принятых интервалов движения, а также получения в данных условиях количества подвижного состава, производится расчет

коэффициента использования вместимости автобуса для всех часов суток. Для этого применяется формула (15):

$$\gamma_{ij} = \frac{q_{расij}}{q_{кор.ij}}, \quad (15)$$

где

$\gamma_{ij}$  – коэффициент использования вместимости автобуса  $i$ -го маршрута в  $j$ -й час суток;

$q_{кор.ij}$  – скорректированное количество подвижного состава  $i$ -го маршрута, необходимое для перевозки пассажиров в  $j$ -й час суток, ед.

Как указывалось выше, расчеты проводятся по трем маркам автобусов. При этом наиболее эффективным автобусом признаётся тот, для которого коэффициент использования вместимости находится в пределах  $\gamma = 0,75 \div 0,85$ .

Стоит отметить, что описанный выше метод имеет ряд недостатков. Первый недостаток заключается в невозможности проведения расчетов с использованием двух и более марок автобусов с различной вместимостью. Однако в ряде случаев использование подобного сочетания подвижного состава позволяет минимизировать затраты на эксплуатацию автобусов.

Вторым существенным недостатком можно считать ограничения в режиме труда и отдыха водителей. Практика использования данного метода показывает, что на стадии составления расписания, диспетчерской службе приходится производить дополнительные расчеты. Связано это в первую очередь с невозможностью обеспечить выход автобусов в соответствии с полученными расчетами, по причине превышения продолжительности рабочей смены водителя. В некоторых случаях подобные корректировки производятся из-за нарушения сроков организации обедов и их протяженности.

К третьему недостатку стоит отнести проблему перевозки в часы пик, а также в те часы, когда провозная способность автобусов принята в размере пассажиропотока. Дело в том, что в течение часа пассажиропоток может меняться в значительной мере, что приводит к перегрузке одних автобусов и не полной загрузке других. В таких условиях пассажиры отказываются осуществлять посадку в салон подвижного состава и ожидают следующего автобуса.

Учитывая вышеуказанные недостатки, авторы статьи предложили собственную методику расчета необходимого числа автобусов для работы на мар-

шрутах городского пассажирского транспорта.

#### Графоаналитический метод расчета необходимого количества подвижного состава

На первом этапе предлагаемой автором методики проводится обследование пассажиропотоков. В отличие от известных методов, в данном случае проводится обследование в разрезе 15-ти минутных интервалов. При этом для расчета коэффициента внутрисуточной неравномерности распределения пассажиропотока предлагается использовать формулу (16):

$$K_{вч,j} = \frac{4 \cdot F_{15\max j}}{F_{\max j}}, \quad (16)$$

где

$K_{вч,j}$  – коэффициент внутрисуточной неравномерности распределения пассажирского потока в течение  $j$ -го часа суток;

$F_{\max j}$  – мощность пассажиропотока в максимально нагруженном сечении  $i$ -го маршрута в течение каждого  $j$ -го часа суток, пасс/ч в одном направлении;

$F_{15\max j}$  – максимальный пассажиропоток в течение 15 минут пикового периода,  $i$ -го маршрута, в разрезе каждого  $j$ -го часа суток; пасс/ч в одном направлении.

Перед следующим этапом расчетов необходимо заранее выбрать интервалы движения подвижного состава в пиковые и межпиковые часы суток. На сегодняшний день, интервалы движения подвижного состава на линии устанавливаются заказчиком перевозок в лице администрации города. В работе «Качество пассажирских перевозок в городах»<sup>8</sup> Ян Цибулка указывал на то, что комфортным временем ожидания пассажира можно считать период до 3 минут, который можно получить при интервале движения подвижно-

го состава в 6 минут. В межпиковый период времени, в таких условиях, интервал движения не должен превышать 10 минут.

Одновременно с этим, Цибулка указывает на то, что допустимый интервал, который еще может привлекать пассажиров, составляет 10 минут в пиковый период и 15 минут в межпиковый период.

После определения интервалов движения на маршруте производим расчет необходимой вместимости подвижного состава, формула (17):

$$\Omega_i = \frac{F_{\max i} \cdot t_{ui\max} \cdot K_{вч,пик}}{60}, \quad (17)$$

где

$\Omega_i$  – вместимость подвижного состава  $i$ -го маршрута, пасс.;

$F_{\max i}$  – мощность пассажиропотока в максимально нагруженном сечении  $i$ -го маршрута в час пик в одном направлении, пасс./ч;

$t_{ui\max}$  – принятый интервал движения подвижного состава на линии  $i$ -го маршрута в пиковые часы, мин.;

$K_{вч,пик}$  – коэффициент внутрисуточной неравномерности распределения пассажирского потока в пиковые часы суток.

На основе расчетов по формуле (17), используя данные таблицы 1, определяем оптимальную вместимость подвижного состава. При этом в ряде случаев,

экономически эффективнее использовать два класса подвижного состава с различной вместимостью (например, среднего и большого класса).

<sup>8</sup> Цибулка Я. Качество пассажирских перевозок в городах / Пер. с чеш. И. В. Шварца; [Предисл. А. Я. Шипилова, Г. А. Новикова]. – М.: Транспорт, 1987. – 239 с.

Таблица 1. Выбор подвижного состава в зависимости от класса и вместимости

Класс автобуса	Длина, м.	Вместимость пассажиров
Особо малый	До 6	До 18
Малый	6–7,5	18–45
Средний	8–9,5	40–75
Большой	10,5–12	80–110
Особо большой	12–20	110–170
Прицеп к автобусу*	9–11,5	70–100

*Примечание* \* – в рамках данной работы проведены исследования эффективности использования автопоездов в составе автобуса и пассажирского прицепа. В Российской Федерации на данный момент нет широкого опыта применения пассажирских прицепов, однако подобная практика широко применяется за границей [13].

*Источник: разработано авторами*

Отдельные расчеты проводятся для определения необходимого количества подвижного состава. Для этого нужны данные о времени движения подвижного состава за один оборотный рейс  $t_{об}$ . Для данных расчетов используется следующее выражение (18):

$$q_{рас} = \frac{t_{об}}{t_{ui}}, \quad (18)$$

где

$q_{рас}$  – расчетное число подвижного состава, ед.;

$t_{об}$  – время движения подвижного состава за один оборотный рейс, ч;

$t_{ui}$  – интервал движения подвижного состава  $i$ -го маршрута, ч.

На следующем этапе предлагаемой автором методики производится расчет необходимой провозной способности подвижного состава  $i$ -го маршрута для каждого  $j$ -го часа суток, с учетом коэффициента внутрисуточной неравномерности  $K_{вч,j}$  формула (19):

$$P_{ij} = F_{ij} \cdot K_{вч,j}, \quad (19)$$

где

$P_{ij}$  – необходимая провозная способность подвижного состава  $i$ -го маршрута в течение  $j$ -го часа, пасс./ч;

$F_{ij}$  – мощность пассажиропотока в максимально нагруженном сечении  $i$ -го маршрута в течение  $j$ -го часа в одном направлении, пасс./ч.

После проведения всех расчетов, с использованием формул (16–19), производится построение графиков работы подвижного состава на линии. При этом график работы автобусов изначально планируется так, чтобы он отвечал требованиям режима труда и отдыха водителей.

Построение производится следующим образом, по вертикали выстраивается работа различных единиц подвижного состава, а по горизонтали их часы работы в течение суток. На графике указывается вме-

стимость автобуса в те часы, в течение которых он работал, в период обеда указывается литера «О», в часы простоя подвижного состава во время разрыва рабочего времени, отмечается буквой «П». Пустые клетки остаются в те часы суток, когда автобус находится в гараже, что представлено на рисунке 1.

После построения графика работы автобусов производится определение реальных интервалов движения (формула 20) и фактической провозной способности в разрезе каждого часа (формула 21):

Номер подвижного состава	Автобусы второй группы												Автобусы первой группы											
	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82		
22																								
21																								
20																								
19																								
18																								
17																								
16																								
15																								
14																								
13																								
12																								
11																								
10																								
9																								
8																								
7																								
6																								
5																								
4																								
3																								
2																								
1																								
часы суток	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00					
Принятый интервал движения подвижного состава на маршруте $t_{ин}$ , мин.	30	15	6	6	6	10	10	10	10	10	10	10	6	6	6	10	15	30	30	30	30			
Фактический интервал движения подвижного состава на маршруте $t_{ин.факт}$ , мин.	26	14	6	6	6	8	8	9	9	9	9	7	6	6	6	10	14	15	20	20	26			
Провозная способность по расписанию $P_{тj.факт}$ , пасс./ч.	328	1050	1443	1443	1115	1115	1050	1050	1050	1050	1312	1443	1443	1378	998	820	721	525	525	328	328			
Необходимая провозная способность $P_{тj}$ , пасс./ч.	88	735	1375	1183	1035	915	930	960	1020	1065	1140	1320	1238	811	585	285	293	140	140	88	88			

Рисунок 1. Пример построения режима работы подвижного состава с помощью графоаналитического метода  
 Источник: разработано авторами

$$t_{ij.факт} = \frac{t_{об}}{N_{ij}}, \quad (20)$$

$$P_{ij.факт} = \frac{\sum \Omega_k \cdot N_k}{t_{об}}, \quad (21)$$

где

$t_{ij.факт}$  – фактический интервал движения подвижного состава  $i$ -го маршрута в течение  $j$ -го часа, пасс./ч;  
 $t_{об}$  – время движения подвижного состава  $i$ -го маршрута за один оборотный рейс, ч.;  
 $N_{ij}$  – количество единиц подвижного состава, работающего на линии  $i$ -го маршрута в течение  $j$ -го часа, ед.;  
 $P_{ij.факт}$  – фактическая провозная способность подвижного состава  $i$ -го маршрута в течение  $j$ -го часа, пасс./ч;  
 $\Omega_k$  – вместимость подвижного состава  $k$ -го класса, пасс.;  
 $N_k$  – количество единиц подвижного состава  $k$ -го класса, работающего на линии  $i$ -го маршрута в течение  $j$ -го часа, ед.

Стоит подчеркнуть, что для облегчения графического построения режима работы автобусов, необходимо первыми указывать те единицы подвижного состава, которые будут работать в две смены с раннего утра до позднего вечера. Вторая группа автобусов должна начать работу до начала или во время утреннего часа пик, чтобы максимально увеличить провозную способность на маршруте. Продолжи-

тельность работы подвижного состава второй группы должна составлять одну смену длительностью до 12 часов, которая включает в себя утренний и вечерний часы пик, а также межпиковое время. Распределение автобусов первой и второй группы, в зависимости от коэффициента часовой неравномерности пассажироперевозок  $K_{ч.н.}$  представлены в таблице 2.

Таблица 2. Распределение автобусов с точки зрения режима работы в зависимости от коэффициента часовой неравномерности на маршруте

Значение коэффициента часовой неравномерности пассажироперевозок $K_{ч.н.}$	Доля автобусов, работающих в двухсменном режиме (7–9 часов)	Доля автобусов, работающих в односменном режиме (11–12 часов)
Менее 1,7	70%	30%
1,7–2,0	65–70%	35–40%
2,0–2,5	50–65%	35–50%
2,5–3,0	30–50%	50–70%
Более 3,0	30%	70%

Источник: разработано авторами

Рекомендации, представленные в таблице 2, получены авторами в результате расчета маршрутов с различными пассажиропотоками и коэффициентами часовой неравномерности.

Коэффициент часовой неравномерности характе-

ризует разницу между часом пик и остальным периодом суток. При этом, чем выше значение коэффициент неравномерности  $K_{ч.н.}$ , тем больше разница максимального часа и среднесуточного объема перевозок. Для его расчета используем формулы (22) и (23).

$$K_{ч.н.} = \frac{A_{ч.пик}}{A_{с.ч.}}, \quad (22)$$

$$A_{с.ч.} = \frac{A_{СУТ}}{T_{ДВ}}, \quad (23)$$

где

$K_{ч.н.}$  – коэффициент часовой неравномерности пассажироперевозок;  
 $A_{с.ч.}$  – среднечасовой объем пассажироперевозок, ед.;  
 $T_{ДВ}$  – продолжительность работы пассажирского транспорта в течение суток, час.

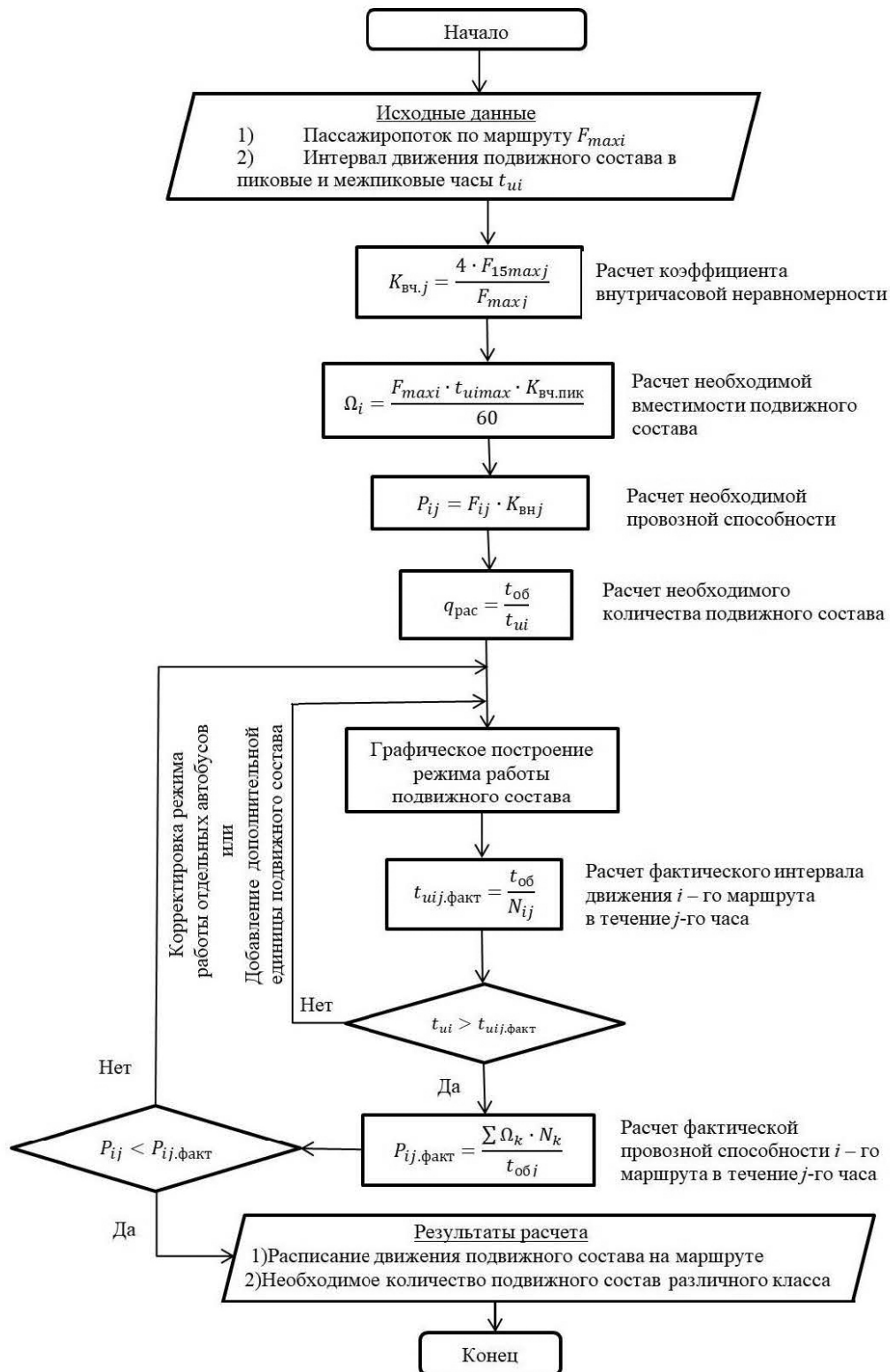


Рисунок 2. Алгоритм расчета необходимого количества подвижного состава и режима его работы на маршруте

Источник: разработано авторами

Получив эти данные с помощью формул (20) и (21), производится сравнение соответствия фактических значений провозной способности автобусов и их интервалов движения показателям установленным заказчиком и расчетами, полученными с помощью формулы (19).

По условиям перевозок, фактическая провозная способность автобусов  $P_{ij, \text{факт}}$ , во все часы суток, должна быть выше, либо равна значению провозной способности  $P_{ij}$ . Одновременно с этим, полученные в результате графического построения режимы работы подвижного состава, должны иметь интервал движения  $t_{ui, \text{факт}}$ , равный или меньше установленного администрацией города  $t_{ui, \text{max}}$ .

В том случае, если в какие-то часы суток, любой из этих двух показателей не удовлетворяет предъявляемым требованиям, производится корректировка режима работы подвижного состава. Для этого корректируется режим работы отдельных автобусов (изменяется продолжительность смены, смещаются обеды и простои) или добавляется дополнительная транспортная единица. Корректировка режимов работы подвижного состава производится до тех пор, пока не будут выполнены требования по провозной способности и интервалам движения.

Алгоритм расчета необходимого количества подвижного состава с помощью графоаналитического метода расчета представлен на рисунке 2.

### Заключение

Таким образом, авторами разработана методика расчета необходимого количества подвижного состава на маршруте в различные часы суток. Данная методика изначально учитывает режим труда и отдыха водителей, что исключает нарушения со стороны транспортного предприятия и минимизирует количество случаев перерасчета расписания движения.

Кроме того, методика учитывает изменение пассажиропотоков в течение часа и в течение суток, что исключает случаи перегрузки салона, а также минимального его заполнения.

Помимо этого, в предложенной методике возможен расчет работы подвижного состава различного класса с различным количеством мест.

Дальнейшие направления исследования предполагается вести в сфере развития данного метода. А именно разработка рекомендаций по использованию различных классов подвижного состава, в зависимости от максимального пассажиропотока и значения коэффициента часовой неравномерности.

### Литература

1. Аземша С. А., Кравченя И. Н. Оценка эффективности оптимизации расписания движения городского пассажирского транспорта на дублирующих участках // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2021. – Т. 18, № 1(77). – С. 72–85. – <http://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-1-72-85>. – EDN: NPOOHL.
2. Аземша С. А., Старовойтов А. Н., Скирковский С. В. Оптимизация интервалов движения транспортных средств при городских перевозках пассажиров в регулярном сообщении // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. – 2013. – № 2 (27). – С. 52–57. – EDN: LAKSAV.
3. Баннов Г. Г. Оптимизация структуры подвижного состава городского пассажирского наземного авто-транспорта // Фундаментальные и прикладные исследования молодых учёных: Сборник материалов VIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, приуроченной к празднованию 300-летия Российской академии наук, Омск, 25–26 апреля 2024 года. – Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2024. – С. 185–193. – EDN: HVVISO.
4. Володькин П. П., Дьячкова О. М., Рыжова А. С. Определение необходимого количества автобусов на маршрутах, исходя из интервала движения, на примере г. Хабаровска // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2015. – № 3. – С. 28–32. – EDN: TJGSVV.
5. Дрючин Д. А. Методы оптимизации структурных параметров городского пассажирского транспорта // Мир транспорта и технологических машин. – 2025. – № 1–3(88). – С. 52–61. – [http://doi.org/10.33979/2073-7432-2025-1-3\(88\)-52-61](http://doi.org/10.33979/2073-7432-2025-1-3(88)-52-61). – EDN: NPXQYK.
6. Котенкова И. Н., Лебедев Е. А., Рассоха В. И. К вопросу о приоритетном праве проезда пассажирского транспорта в городах // Прогрессивные технологии в транспортных системах: Материалы XIX Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Оренбург, 20–22 ноября 2024 года. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2025. – С. 239–248. – EDN: XLVPEO.
7. Лаврентьев А. А. Анализ тенденций развития структуры автобусного парка городского пассажирского транспорта // Управление качеством в транспортной и социальной сферах: сборник материалов XLVII Всероссийской студенческой научной конференции, Оренбург, 01–08 апреля 2025 года. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2025. – С. 50–54. – EDN: JPHNMU.

8. Методика обеспечения приоритетных условий движения городского пассажирского транспорта / Т. В. Коновалова [и др.] // Мир транспорта. – 2024. – Т. 22, № 2(111). – С. 70–80. – <http://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-2-7>. – EDN: KLOOOT.
9. Орлов А. Л. Автомобилизация всей страны – плюсы и минусы // Российское предпринимательство. – 2009. – № 9-1. – С. 98–102. – EDN: KXJGGF.
10. Паршакова К. А., Якунин Н. Н., Якунина Н. В. Влияние характеристик пассажиропотоков на эффективность суточных планов интервалов движения городского транспорта // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. – 2024. – № 4(113). – С. 43–46. – EDN: BGLFDZ.
11. Рябов И. М., Кашманов Р. Я. Совершенствование организации обслуживания пассажиров на маршруте путем использования автобусов разной вместимости // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2019. – Т. 16, № 3 (67). – С. 264–275. – EDN: ODWXJB.
12. Фадеев А. И., Фомин Е. В. Методика решения задачи определения оптимальной структуры парка подвижного состава городского пассажирского транспорта общего пользования // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2018. – Т. 22, № 1 (132). – С. 218–227. – <http://doi.org/10.21285/1814-3520-2018-1-218-227>. – EDN: YMMWJT.
13. Цариков А. А. Проблемы обслуживания маршрутов городского пассажирского транспорта в часы пик // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. – 2021. – № 1. – С. 205–209. – EDN: CGSGDL.
14. Якунина Н. В. Совершенствование методологии определения структуры подвижного состава городского пассажирского автомобильного транспорта // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2011. – № 10 (129). – С. 13–19. – EDN: PDRBSP.
15. Якунина Н. В., Якунин Н. Н. Методика определения структуры подвижного состава городского пассажирского автомобильного транспорта на базе укрупненных показателей транспортной подвижности // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2011. – № 4 (51). – С. 96–99. – EDN: NQSDXB.
16. Яценко С. А. Анализ методик расчета потребности автобусов для городских маршрутов // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2016. – № 5(112). – С. 193–202. – <http://doi.org/10.21285/1814-3520-2016-5-193-202>. – EDN: VXPEGF.
17. Cao Zh., Ceder A., Zhang S. (2019) Real-time schedule adjustments for autonomous public transport vehicles. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. – Vol. 109, pp. 60–78. – <http://doi.org/10.1016/j.trc.2019.10.004>. (In Eng.).
18. Lopez-Ramos F. (2014) Integrating network design and frequency setting in public transportation networks: a survey. *SORT*. – Vol. 38. – No. 2, pp. 181–214. (In Eng.).
19. Lui T., Ceder A. (2018) Integrated public transport timetable synchronization and vehicle scheduling with demand assignment: A bi-objective bi-level model using deficit function approach. *Transportation Research Part B: Methodological*. – Vol. 117, pp. 935–955. – <http://doi.org/10.1016/j.trb.2017.08.024>. (In Eng.).
20. May A. D. (2013) Urban Transport and Sustainability: The Key Challenges. *International Journal of Sustainable Transportation*. – Vol. 7. – No. 3, pp. 170–185. – <http://doi.org/10.1080/15568318.2013.710136>. (In Eng.).
21. Van Nes R., Hamerslag R., Immers B. H. (1988) Design of public transport networks. *Transportation Research Record*, pp. 74–83. (In Eng.).

#### References

1. Azemsha, S. A., Kravchenya, I. N. (2021) [Evaluation of the effectiveness of optimizing the schedule of urban passenger transport on duplicate routes]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta*. [Bulletin of the Siberian State Automobile and Road University]. Vol. 1, pp. 72–85. – <http://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-1-72-85>. (In Russ.).
2. Azemsha, S. A., Starovojtov, A. N., Skirkovskij, S. V (2013) [Optimization of vehicle traffic intervals during urban passenger transportation in regular services]. *Vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta transporta: Nauka i transport*. [Bulletin of the Belarusian State University of Transport: Science and Transport]. Vol. 2, pp. 52–57. (In Russ.).
3. Bannov, G. G. (2024) [Optimization of the rolling stock structure of urban passenger ground transport]. *Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya molodyh uchyonyh: Sbornik materialov VIII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchyonyh, priurochennoj k prazdnovaniju 300-letiya Rossijskoj akademii nauk, Omsk, 25–26 aprelya 2024 goda* [Fundamental and Applied Research by Young Scientists:

---

Collection of Materials of the VIII International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates, and Young Scientists Dedicated to the 300th Anniversary of the Russian Academy of Sciences, Omsk, April 25–26, 2024. – Omsk: Siberian State Automobile and Road University (SibADI), pp. 185–193. (In Russ.).

4. Volodkin, P. P., Dyachkova, O. M., Ryzhova, A. S. (2015) [Determining the required number of buses on routes based on the travel interval, using the example of Khabarovsk]. *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. Nauchnyj informacionnyj sbornik*. [Transport: Science, Technology, Management. Scientific Information Collection]. Vol. 3, pp. 28–32. (In Russ.).

5. Dryuchin, D. A. (2025) [Methods for optimizing the structural parameters of urban passenger transport]. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. [The world of transport and technological machines]. Vol. 1–3, pp. 52–61. – [http://doi.org/10.33979/2073-7432-2025-1-3\(88\)-52-61](http://doi.org/10.33979/2073-7432-2025-1-3(88)-52-61). (In Russ.).

6. Kotenkova, I. N., Lebedev, E. A., Rassoha, V. I. (2025) [On the issue of passenger transport priority in cities]. *Progressivnye tekhnologii v transportnykh sistemakh: Materialy XIX Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, Orenburg, 20–22 noyabrya 2024 goda*. – Orenburg: Orenburgskij gosudarstvennyj universitet [Progressive Technologies in Transport Systems: Proceedings of the 19th All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation, Orenburg, November 20–22, 2024. Orenburg: Orenburg State University], pp. 239–248. (In Russ.).

7. Lavrentev, A. A. (2025) [Analysis of trends in the development of the urban passenger transport bus fleet structure]. *Upravlenie kachestvom v transportnoj i social'noj sferah: sbornik materialov XLVII Vserossijskoj studencheskoj nauchnoj konferencii, Orenburg, 01–08 aprelya 2025 goda*. – Orenburg: Orenburgskij gosudarstvennyj universitet [Quality Management in the Transport and Social Spheres: Collection of Materials from the XLVII All-Russian Student Scientific Conference, Orenburg, April 01–08, 2025. Orenburg: Orenburg State University]. pp. 50–54. (In Russ.).

8. Konovalova, T. V., et al. (2024) [Methodology for ensuring priority conditions for urban passenger transport]. *Mir transporta*. [The world of transport]. Vol. 2, pp. 70–80. – <http://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-2-7>. (In Russ.).

9. Orlov, A. L. (2009) [Automobility throughout the country: pros and cons]. *Rossijskoe predprinimatel'stvo* [Russian entrepreneurship]. Vol. 9–1, pp. 98–102. (In Russ.).

10. Parshakova, K. A., Yakunin, N. N., Yakunina, N. V. (2024) [The impact of passenger flow characteristics on the efficiency of daily traffic intervals]. *Transport Rossijskoj Federacii. Zhurnal o nauke, praktike, ekonomike* [Transport of the Russian Federation. Journal on Science, Practice, and Economics]. Vol. 4, pp. 43–46. (In Russ.).

11. Ryabov, I. M., Kashmanov, R. Ya. (2019) [Improving the organization of passenger service on the route by using buses of different capacities]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta*. [Bulletin of the Siberian State Automobile and Road University]. Vol. 3, pp. 264–275. (In Russ.).

12. Fadeev, A. I., Fomin, E. V. (2018) [Methodology for solving the problem of determining the optimal structure of the fleet of public passenger transport vehicles]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. [Bulletin of Irkutsk State Technical University.] Vol. 1, pp. 218–227. – <http://doi.org/10.21285/1814-3520-2018-1-218-227>. (In Russ.).

13. Carikov, A. A. (2021) [Problems with servicing urban passenger transport routes during peak hours]. *Dal'nij Vostok: problemy razvitiya arhitekturno-stroitel'nogo kompleksa*. [The Far East: Problems of Architectural and Construction Complex Development]. Vol. 1, pp. 205–209. (In Russ.).

14. Yakunina, N. V. (2011) [Improving the methodology for determining the structure of urban passenger motor transport rolling stock]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Orenburg State University]. Vol. 10, pp. 13–19. (In Russ.).

15. Yakunina, N. V., Yakunin, N. N. (2011) [Methodology for determining the structure of urban passenger motor transport rolling stock based on aggregated indicators of transport mobility]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. [Bulletin of Irkutsk State Technical University]. Vol. 4, pp. 96–99. (In Russ.).

16. Yacenko, S. A. (2016) [Analysis of methods for calculating the need for buses on urban routes]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Irkutsk State Technical University]. Vol. 5, pp. 193–202. – <http://doi.org/10.21285/1814-3520-2016-5-193-202>. (In Russ.).

17. Cao, Zh., Ceder, A., Zhang, S. (2019) Real-time schedule adjustments for autonomous public transport vehicles. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. Vol. 109, pp. 60–78. – <http://doi.org/10.1016/j.trc.2019.10.004>. (In Eng.).

18. Lopez-Ramos, F. (2014) Integrating network design and frequency setting in public transportation networks: a survey. *SORT*. Vol. 38. No. 2, pp. 181–214. (In Eng.).

19. Lui, T., Ceder, A. (2018) Integrated public transport timetable synchronization and vehicle scheduling with demand assignment: A bi-objective bi-level model using deficit function approach. *Transportation Research Part B: Methodological*. Vol. 117, pp. 935–955. – <http://doi.org/10.1016/j.trb.2017.08.024>. (In Eng.).
20. May, A. D. (2013) Urban Transport and Sustainability: The Key Challenges. *International Journal of Sustainable Transportation*. Vol. 7. No. 3, pp.170–185. – <http://doi.org/10.1080/15568318.2013.710136>. (In Eng.).
21. Van, Nes R., Hamerslag, R., Immers, B. H. (1988) Design of public transport networks. *Transportation Research Record*, pp. 74–83. (In Eng.).

**Информация об авторах:**

**Алексей Алексеевич Цариков**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Проектирование и эксплуатация автомобилей», Уральский государственный университет путей сообщения, Екатеринбург, Россия

**ORCID iD:** 0000-0002-5314-8602

e-mail: [Zarikof@mail.ru](mailto:Zarikof@mail.ru)

**Дмитрий Германович Неволин**, доктор технических наук, профессор кафедры «Проектирование и эксплуатация автомобилей», Уральский государственный университет путей сообщения, Екатеринбург, Россия.

**ORCID iD:** 0000-0002-5492-3391

e-mail: [innotrans@mail.ru](mailto:innotrans@mail.ru)

**Вклад соавторов:**

**Цариков А. А.** – обзор литературы, сбор и обработка данных, разработка методики.

**Неволин Д. Г.** – общее научное руководство исследованием, включая поставку задачи, написание аннотации и доработка статьи по результатам рецензирования.

Статья поступила в редакцию: 05.12.2025; принята в печать: 30.03.2026.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

**Information about the authors:**

**Aleksey Alekseevich Tsarikov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department «Design and Operation of Automobiles», Ural State University of Railway Transport, Yekaterinburg, Russia

**ORCID iD:** 0000-0002-5314-8602

e-mail: [Zarikof@mail.ru](mailto:Zarikof@mail.ru)

**Dmitriy Germanovich Nevolin**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department «Design and Operation of Automobiles», Ural State University of Railway Transport, Yekaterinburg, Russia

**ORCID iD:** 0000-0002-5492-3391

e-mail: [innotrans@mail.ru](mailto:innotrans@mail.ru)

**Contribution of the authors:**

**Tsarikov A. A.** – literature review, data collection and processing, development of the methodology.

**Nevolin D. G.** – general scientific management of the research, including the delivery of the task, writing the abstract, and refinement of the article based on the results of the review.

The paper was submitted: 05.12.2025.

Accepted for publication: 30.03.2026.

The authors have read and approved the final manuscript.