

УДК 656.1/.5

DOI: [10.26102/2310-6018/2023.41.2.010](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2023.41.2.010)

Оптимизация управления пассажирскими перевозками в период неустойчивого сезонного пассажиропотока

А.А. Штепа[✉], В.П. Белокуров, Р.А. Кораблев, Э.Н. Бусарин

*Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова,
Воронеж, Российская Федерация
alexei_shtepa@mail.ru*

Резюме. Пассажирский общественный транспорт играет важную роль в социально-экономическом развитии территории, и именно поэтому рассмотрение вопросов устойчивого функционирования и оптимизации управления перевозками являются актуальными, чем и обусловлены исследования авторов. В виду этого представленная статья направлена на решение задачи по оптимизации управления пассажирскими перевозками в период неустойчивого сезонного пассажиропотока в городах. Основным методом к исследованию рассматриваемой транспортной проблемы является динамическое программирование. В данном аспекте опорой динамического программирования являются рекуррентные соотношения. В статье представлены критерии оптимизации, в ситуационной задаче управления пассажирскими перевозками раскрыта целевая функция, позволяющая оптимально дополнительно распределять пассажирский автотранспорт по каждому маршруту города в период зависимости сезонной неустойчивости пассажирооборота, выявлено оптимальное количество пассажирского автотранспорта и обоснован способ динамического программирования при решении транспортной задачи. Результатом проведенного исследования стал алгоритм, определяющий необходимое количество подвижного состава на маршруте общественного транспорта методом динамического программирования и результаты расчетов, в зависимости от периода неустойчивости сезонного пассажиропотока. Материалы статьи представляют практическую ценность для прикладных исследований в автотранспортном комплексе.

Ключевые слова: динамическое программирование, задача, критерий, моделирование, оптимизация, перевозки, сезонность, транспорт.

Для цитирования: Штепа А.А., Белокуров В.П., Кораблев Р.А., Бусарин Э.Н. Оптимизация управления пассажирскими перевозками в период неустойчивого сезонного пассажиропотока *Моделирование, оптимизация и информационные технологии.* 2023;11(2). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1306> DOI: 10.26102/2310-6018/2023.41.2.010

Optimization of passenger transportation management under the conditions of unstable seasonable passenger traffic

A.A. Shtepa[✉], V.P. Belokurov, R.A. Korablev, E.N. Busarin

*Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,
Voronezh, the Russian Federation
alexei_shtepa@mail.ru*

Abstract. Passenger public transport is very important for the social-economic development of any territory, and that is why consideration of the issues of sustainable functioning and optimization of the transportation management is relevant, which underlies the authors' research. Owing to this, the article addresses the problem of passenger transportation management optimization under the conditions of unstable seasonable passenger traffic in cities. The leading method to study this transport problem is dynamic programming, which is based on the package of recurrence relations. The article presents an optimization criterion in the situational task to manage passenger traffic, demonstrates the objective

function that allows optimal additional distribution of passenger vehicles along each city route depending on the time of year, identifies the optimal number of passenger vehicles and substantiates the method of dynamic programming in solving a transportation problem. As the result of the study, an algorithm that determines the required number of rolling stock on the route of public transport by dynamic programming has been developed and the results of calculations depending on the period of instability of seasonal passenger traffic have been provided. The materials of the article are of practical value for applied researchers in the auto transport complex.

Keywords: dynamic programming, task, criterion, modeling, optimization, transportation, seasonality, transport.

For citation: Shtepa A.A., Belokurov V.P., Korablev R.A., Busarin E.N. Optimization of passenger transportation management under the conditions of unstable seasonable passenger traffic. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2023;11(2). <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1306> DOI: 10.26102/2310-6018/2023.41.2.010

Введение

Пассажирский общественный транспорт играет основополагающую роль в функционировании и развитии социально-экономических систем как крупных городов-мегаполисов, так и территорий с малой численностью или с сезонной неустойчивостью пассажиропотоков (увеличением / уменьшением населения). Для качественного и устойчивого функционирования пассажирских перевозок в период сезонных колебаний пассажиропотока необходимы научно-обоснованные инструменты по оптимизации управления пассажирскими перевозками.

В виду этого в статье представлены материалы и методы для решения нестандартной сезонной транспортной задачи. Следовательно, целью исследования является повышение эффективности эксплуатации пассажирского автотранспорта при осуществлении пассажирских перевозок в период неустойчивого сезонного пассажиропотока.

Для достижения поставленной цели были поставлены и решены задачи анализа существующих методов организации и управления пассажирским автотранспортом, которые обеспечивают эффективность и качество пассажирских перевозок; разработки алгоритма по рациональной организации пассажирских перевозок в период неустойчивости сезонного пассажиропотока, итогом чего стала оптимизация транспортной задачи.

Материалы и методы

Социально-экономическая стабильность работы городской автотранспортной сети достигается за счет оптимальности управления пассажирскими перевозками, которая достигается за счет использования обобщенного показателя качества обслуживания, учитывающего требования пассажиров при обеспечении экономической эффективности пассажирского автотранспортного процесса. В качестве основного управляющего параметра в данном случае может быть использован интервал движения, который зависит от количества пассажирского автотранспорта на улично-дорожной сети. Другим важным параметром, определяющим качество обслуживания пассажиров, является время пребывания пассажиров в пути, которое определяется временем ожидания пассажиром автотранспорта, временем посадки-высадки пассажиров и временем движения пассажирского автотранспорта.

Это позволяет в общей задаче оптимизации пассажирских перевозок ввести критерий типа следующего определения:

$$\varphi = \sum_{k=1}^{N_k} \sum_{i=1}^{n_{k-1}} [\Pi_{ik} t_{ik}^{\text{ож}} + \tau_{ik} \sum_i^j (\Pi_{ik} - R_{jk})], \quad (1)$$

где Π_{ik} , R_{jk} – среднестатистическое количество пассажиров, входящих / выходящих на остановке i маршрута k соответственно; $t_{ik}^{\text{ож}}$ – среднестатистическое время ожидания одним пассажиром на i -той остановке k -той стоянки пассажирского транспорта; τ_{ik} – время стоянки пассажирского транспорта на i -той остановке k -го маршрута в период максимального пассажиропотока; i, j – индексы остановок следования пассажирского транспорта; N_k – количество остановок на маршруте k .

В формуле (1) время ожидания транспорта пассажирами $t_{ik}^{\text{ож}}$ и время стоянки транспорта являются функциями загрузки пассажирского транспорта, что позволяет использовать данный критерий (1) при выборе типа пассажирского автотранспорта по его вместимости.

Необходимое число пассажирского автотранспорта по времени года на УДС городов в период сезонного неустойчивого пассажиропотока быть определено за счет минимизации критерия φ (1). В этом случае вводятся ограничения как на количество транспорта (2), так и на уровень его загрузки (3), то есть

$$A_k \leq A_k(t); \quad (2)$$

$$\gamma_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^i (\Pi_{jk} - R_{jk})}{q_k} \leq \gamma_k(t), \quad (3)$$

где A_k – количество пассажирского автотранспорта на маршруте k ; $A_k(t)$ – число транспорта, которое может быть максимально выпущено на маршрут k в момент времени t ; t – параметр времени, который характеризует продолжительность работы пассажирского автотранспорта на маршруте k в зависимости от наличия пассажиропотока; γ_{ik} – коэффициент наполняемости пассажирского автотранспорта на остановке i маршрута k ; $\gamma_k(t)$ – коэффициент наполняемости автотранспорта на маршруте k ; q_k – средняя вместимость пассажирского автотранспорта на маршруте k .

При оптимизации критерия эффективности (1) с учетом ограничений (2) и (3) появляется возможность решения ситуационных задач управления и регулирования пассажирскими перевозками, что будет способствовать предотвращению загрузки УДС автобусами малой вместимости на маршрутах с большими пассажиропотоками, исключит появление больших интервалов движения и повысит качество обслуживания пассажиров.

Если предположить, что количество транспорта на УДС города достаточно для обеспечения перевозки пассажиров в полном объеме, то для его наполняемости с учетом зависимости (3) может быть описано следующим определением

$$\sum_{j=1}^i (\Pi_{jk} - R_{jk}) \leq \gamma_{ik} q_k, \quad (4)$$

где q_k – вместимость подвижного состава, который используется на k -том маршруте; Π_k – общее количество остановок подвижного состава на k -том маршруте.

Определение (4) описывает то, что количество пассажиров, наполняющих подвижной состав на остановке общественного транспорта $\sum_{j=1}^i (\Pi_{jk} - R_{jk})$ не должно и априори не может превышать его фактическую вместимость q_k .

Выпуск количества пассажирского транспорта на УДС городов имеет ограничение как сверху, так и снизу при условии выполнения неравенства (2). Так, ограничение транспорта снизу (A_{kmin}) будет определяться исходя из максимально допустимой загрузки пассажирского автотранспорта (γ_{max}) на выбранной i -той остановке в момент времени t при интервале движения I_k , то есть

$$A_{kmin} \geq \gamma_{max} \cdot \frac{t_k^{об}}{I_k}, \quad (5)$$

где γ_{max} – коэффициент наполнения автотранспорта, характеризующий его максимальную загрузку; $t_k^{об}$ – время оборота пассажирского транспорта на маршруте k ; I_k – интервал движения, при котором производятся замеры входа-выхода пассажиров на маршруте k .

Таким образом, ограничение снизу предотвращает увеличение сверхнормативного интервала движения, а также предотвращает превышение коэффициента наполнения пассажирского транспорта.

Ограничение сверху количества пассажирского транспорта также необходимо, так как его возрастание будет снижать эффективность перевозки пассажиров. Верхняя граница количества подвижного состава на маршруте k (A_{kmax}) с учетом неравенств (4) и (5) определяется согласно следующему описанию

$$A_{kmax} = \frac{t_k^{об}}{I_k}. \quad (6)$$

Время оборота рейса $t_k^{об}$ на маршруте k определяется зависимостью определения

$$t_k^{об} = t_{дв} + t_{ос} = \frac{S_k}{V_k} + n_k \tau_k, \quad (7)$$

где $t_{дв}$, $t_{ос}$ – время движения и время, затраченное на остановки автотранспорта; S_k – длина k -го маршрута в обоих направлениях (если маршрут маятниковый, а не кольцевой); V_k – эксплуатационная скорость движения подвижного состава на маршруте k ; n_k – количество остановок общественного транспорта на маршруте k ; τ_k – среднее время остановки (стоянки) подвижного состава на маршруте k .

Показатель интервала движения для пассажирского автотранспорта (I_k) в результате подстановки (7) в (6) примет вид следующего определения

$$I_k = \frac{S_k}{V_k \cdot A_k} + \frac{n_k \tau_k}{A_k}, \quad (8)$$

Принимая $A_k = A_{kmax}$ при минимальных значениях времени стоянки транспорта (τ_k) при посадке-высадке пассажиров и времени отсутствия пассажирского автотранспорта (t_k) из выражения (8), получим максимальное количество транспорта, то есть

$$A_{kmax} = \frac{S_k}{V_k \cdot I_k} + \frac{n_k \tau_k}{I_k}, \quad (9)$$

Таким образом, оптимальное количество пассажирского автотранспорта находится в интервале (A_{kmin} , A_{kmax}) формул (5) и (9), то есть

$$\gamma_{max} \cdot \frac{t_k^{об}}{I_k} \leq A_k \leq \frac{S_k}{V_k \cdot I_k} + \frac{n_k \tau_k}{I_k}. \quad (10)$$

При решении ситуационной задачи [1] распределения пассажирского транспорта по маршрутам принят критерий оптимальности (1), где переменными показателями являются: среднее время ожидания автотранспорта пассажирами на i -той остановке k -го маршрута ($t_{ik}^{ож}$) и среднее время стоянки автотранспорта при посадке-высадке пассажиров (τ_{ik}). Значения числа входящих и выходящих пассажиров (P_{jk}) и (R_{jk}) предполагается постоянным, удовлетворяющим ограничению в виде неравенства (4). В решении данной ситуационной задачи оптимизации учитывается также то, что маршрутная сеть города состоит из (N) маршрутов, время следования между остановками пассажирского общественного транспорта, пассажиропоток, время

остановки (стоянки) подвижного состава на остановках общественного транспорта (τ_k), общее количество остановок на маршруте общественного транспорта (n_k), а также общее количество пассажирского транспорта на всех маршрутах (M) города [2, 3].

Именно распределение дополнительного подвижного состава общественного транспорта с учетом того, чтобы суммарное время ожидания пассажиров на остановках общественного транспорта было минимальным, является оптимизацией рассматриваемой ситуационной задачи. Стоит отметить, что в данном аспекте количество подвижного состава на маршрутах города должно удовлетворять неравенству (10), которое обеспечит качество обслуживания пассажиров. В связи с этим, критерий оптимизации в ситуационной задаче управления пассажирскими перевозками (1) определяется в виде следующего описания

$$\varphi = \sum_{k=1}^N [\Pi_k (t_k^{ож} + \tau_k)], \quad (11)$$

при соблюдении следующего ограничения

$$\sum_{k=1}^N A_k \leq M. \quad (12)$$

Так как время ожидания пассажиром пассажирского автотранспорта ($t_k^{ож}$) на маршруте k определяется в виде следующего описания и может быть представлено в виде следующего определения

$$t_k^{ож} = \frac{t_k^{об}}{A_k} - \tau_k, \quad (13)$$

то целевая функция (11) окончательно принимает вид

$$\varphi = \sum_{k=1}^N [\Pi_k \cdot \frac{t_k^{об}}{A_k}]. \quad (14)$$

Результаты

Предлагаемая целевая функция (φ) (14) позволяет оптимально дополнительно распределять подвижной состав по каждому городскому маршруту при появлении зависимости неустойчивого сезонного пассажиропотока. Это является важным для территорий не только с неустойчивым пассажиропотоком, но и городов Юга России, которые, как правило, имеют численность населения менее 200 000 человек, а в летний период времени население существенно увеличивается за счет приезжих-отдыхающих.

В целевой функции (φ) (14) при оптимальном ситуационном распределении пассажирского автотранспорта по маршрутам города в качестве управляющего воздействия на каждом k -ом маршруте предлагается использовать количество пассажирского автотранспорта (A_k), выпускаемого на линию. Параметры же (Π_k) и ($t_k^{об}$) характеризуют непосредственно k -й маршрут и являются инвариантными по отношению к количеству пассажирского автотранспорта, находящегося на маршрутах города.

Определение оптимального ситуационного количества подвижного состава на пассажирском автотранспорте в летний период времени на некоторых маршрутах курортных городов Юга России может быть осуществлено целевой функцией (φ) в окончательном выражении (φ) (14) [2]. Следовательно, при динамическом программировании, в данном случае, следует проводить пошаговую минимизацию (φ) (14). Перераспределив оптимальным вариантом дополнительный подвижной состав на пассажирском автотранспорте, на очередном этапе (шаге) оптимизации имеем заключительную оптимизацию при условии, что минимум целевой функции (φ) будет уже пройден.

В этом случае функцией оптимизации может быть зависимость следующего определения

$$\varphi_d = \min[\varphi(A_1, A_2, \dots, A_k)], \quad (15)$$

где $[\varphi(A_1, A_2, \dots, A_k)]$ – функция, описанная определением (14); d – порядковый номер представленной оптимизации по Р. Беллману [2].

Границами ограничения определения функции (φ_d) является ограничение определения ($\sum_{k=1}^N A_k \leq M$), то есть

$$\sum_{k=1}^N A_k \leq M, \quad (16)$$

где N – общее количество маршрутов общественного транспорта; k – k -тый маршрут; M – общее количество подвижного состава пассажирского автотранспорта.

В период неустойчивого сезонного пассажиропотока, в аспекте летнего периода времени, в результате дополнительного перераспределения подвижного состава пассажирского транспорта (P_k) на маршруте k из-за увеличения пассажиропотоков в городах Юга России (на примере г. Геленджик) будет наблюдаться уменьшение целевой функции (φ_d) (15), которое может быть определено с учетом определения (14) следующим описанием

$$\varphi_d(A_k, P_k) = \frac{P_k t^{06}_k}{A_k} - \frac{P_k t^{06}_k}{A_k + P_k} = . \quad (17)$$

И в данном выражении величина на $\{\varphi_d\}$ связана рекуррентным описанием [1, 3],

$$\varphi_d = \varphi_{d-1} - \max[\varphi_k(A_k, 1)], \quad (18)$$

из которого следует, что на каждом этапе оптимизации оптимальный результат достигается при добавлении (дополнительном) одной единицы подвижного состава пассажирского автотранспорта на маршрут, достигая минимального значения целевой функции (φ_d) (15).

Цель оптимального распределения дополнительного подвижного состава пассажирского автотранспорта в период неустойчивого сезонного пассажиропотока, позволяет повысить показатели эффективности и качества пассажирских перевозок. По результатам проведенного исследования предложен алгоритм решения распределения пассажирского транспорта по маршрутам города с учетом эффективности и качества пассажирских перевозок (Рисунок 1).

Таким образом, динамическое программирование помогает определять (решать) многошаговые стохастические процессы в управлении автомобильным пассажирским транспортом, и реализация данного метода базируется на аппарате рекуррентных соотношений. Несмотря на то, что процесс оптимизации при динамическом программировании подразделяется на этапы, оптимизация же целевой функции производится последовательно, с определением оптимального планирования и управления. На каждом шаге последовательно определяется совокупность переменных, при которых целевая функция имеет наименьшее / наибольшее значение [2, 4-7].

На основании метода динамического программирования для периода сезонного неустойчивого пассажиропотока было предложено оптимальное перераспределение дополнительного подвижного состава пассажирского автотранспорта НЕФАЗ-5300 в составе 5 единиц подвижного состава между двумя наиболее загруженными маршрутами № 3 и № 5 г. Геленджика. Длина маршрута (L_m) общественного транспорта № 3 «ул. Молодежная – Голубая бухта» составляет 19,1 км., а маршрута № 5 «Тонкий мыс – Полярная звезда» – 16,8 км. По результатам натурных исследований пассажиропоток (Q)

на данных маршрутах составил $Q_{№3} = 630$, пасс/ч. И $Q_{№5} = 520$, пасс/ч. Третий маршрут представлен 7 единицами подвижного состава типа НЕФА3-5300, с 12 рейсами и средним оборотом ($T_{об}$) на маршруте 125 об/мин. Пятый маршрут представлен 9 единицами подвижного состава типа НЕФА3-5300, с 9 рейсами и средним оборотом ($T_{об}$) на маршруте 141 об/мин. Стоит отметить, что подвижной состав типа НЕФА3-5300 предполагает максимальную загрузку – 120 пассажиров (23 сидячих и 89 стоя).

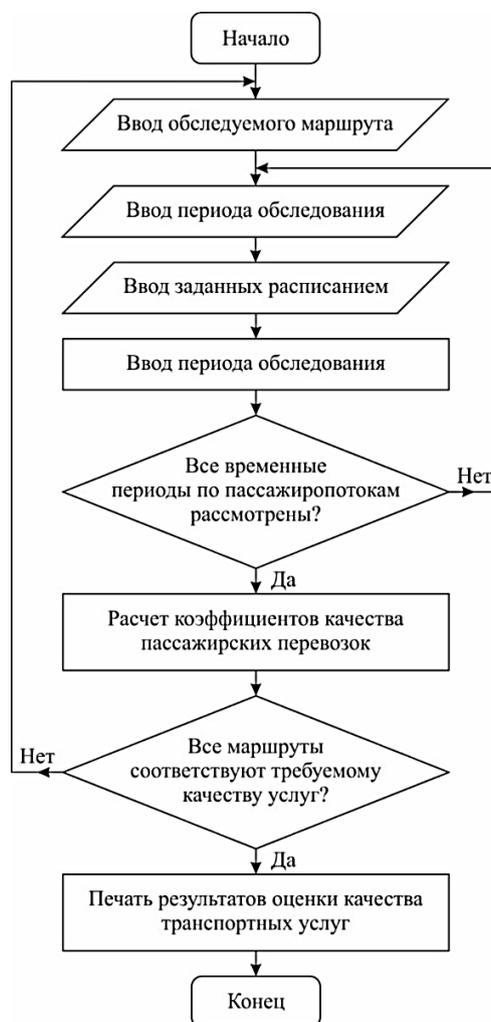


Рисунок 1 – Алгоритм распределения пассажирского транспорта по маршрутам города с учетом качества пассажирских перевозок

Figure 1 – Algorithm for passenger vehicles distribution along the city routes taking into account the quality of passenger transportation

Алгоритм решения данной задачи (Рисунок 1) при использовании динамического программирования можно представить в виде пошагового решения путем последовательной подстановки предыдущего результата в последующий до достижения минимального значения целевой функции (15). При использовании зависимостей (14) и (17) целевая функция (15) в расчетах принимала вид целевой функции в виде (18).

Стоит отметить, что в алгоритме распределения пассажирского транспорта по маршрутам города с учетом качества пассажирских перевозок, под учетом качества перевозок необходимо понимать такие показатели, как наполняемость подвижного состава, регулярность его движения, время поездки пассажиров, обеспечение безопасности перевозки, соблюдение интервала движения и т. д.

Произведенные расчеты показали, что на первом этапе целевая функция (18) имела значение $\varphi_{11} = 5850$, а на седьмом шаге расчетов достигла минимального значения $\varphi_{17} = 4544,3$, что соответствовало тому, что на маршрут № 3 необходимо дополнительно направить 2 единицы подвижного состава пассажирского автотранспорта НЕФА3-5300, а на маршрут № 5 – 3 единицы подвижного состава из пяти перераспределяемых между данными маршрутами. В итоге в период сезонного увеличения пассажиропотока маршрут № 3 должен обслуживаться 9 единицами подвижного состава типа НЕФА3-5300, а маршрут № 5 – 12 единицами.

Обсуждение

Число пассажирского автотранспорта на маршрутах – управляющий фактор, при рассмотрении данной транспортной задачи в призме динамического программирования, а целевая функция (φ) удовлетворяет этому условию, вследствие того, что все параметры, полученные при описании (15), являются характеристиками маршрутов и зависят от числа подвижного состава пассажирского автотранспорта на маршрутах [8-10].

Заключение

Применение динамического программирования позволяет перераспределить (доукомплектовать) подвижной состав пассажирского автотранспорта по маршрутам с любого этапа, то есть добавить к уже имеющемуся пассажирскому автотранспорту, закрепленному за маршрутами, или убавить. В конечном счете это позволит повысить качество перевозочного процесса в аспектах времени ожидания пассажирами общественного транспорта, наполняемости подвижного состава пассажирского автотранспорта, а также времени в пути следования. Итогом оптимизации, при решении данной транспортной задачи является положительный социально-экономический эффект в период неустойчивого сезонного изменения пассажиропотока.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Моисеев Н.Н. *Математические задачи системного анализа*. 2-е изд. М.: URSS; 2011. 487 с.
2. Беллман Р., Дрейфус С. *Прикладные задачи динамического программирования*. М.: Наука; 1965. 495 с.
3. Сысоев А.С., Ляпин С.А., Галкин А.В. *Интеллектуальные методы управления транспортными системами*. 3-е изд. М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К»; 2023. 192 с.
4. Петров В.В. *Теория управления движением транспортных потоков в городах*. Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ); 2020. 101 с.
5. Бозиев О.Л. *Приложения метода динамического программирования к некоторым задачам принятия решений*. Нальчик: Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова; 2008. 46 с.
6. Гасников А.В., Кленов С.Л., Нурминский Е.А. *Введение в математическое моделирование транспортных потоков*. 2-е издание, исправленное и дополненное. М.: Московский центр непрерывного математического образования; 2013. 428 с.
7. Буслаев А.П., Новиков А.В., Таташев А.Г. *Вероятностные и имитационные подходы к оптимизации автодорожного движения*. М.: Мир; 2003. 367 с.
8. Скоробогатченко Д.А. *Моделирование дорожного движения*. Волгоград: Волгоградский государственный технический университет; 2017. 105 с.

9. Belokurov V.P., Spodarev R.A., Belokurov S.V. Determining passenger traffic as important factor in urban public transport system. *Transportation research Procedia: XIV International Conference on Organization and Traffic Safety Management in Large Cities (OTS-2020)*, 2020. P. 52–58. DOI: 10.1016/j.trpro.2020.10.007.
10. Dorokhin S.V., Artemov A.Y., Likhachev D.V. Traffic simulation: An analytical review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: VIII International Scientific Conference Transport of Siberia*. Novosibirsk: IOP Publishing Ltd; 2020. P. 012058. DOI: 10.1088/1757-899X/918/1/012058.

REFERENCES

1. Moiseev N.N. *Mathematical Problems of System Analysis: a textbook for university students studying in the specialty «Applied Mathematics»*. 2nd edition. Moscow: URSS; 2011. 487 p. (In Russ.).
2. Bellman R.E., Dreyfus S. *Applied problems of dynamic programming*. Moscow: Nauka; 1965. 495 p. (In Russ.).
3. Sysoev A.S., Lyapin S.A., Galkin A.V. *Intelligent Methods of Transport Systems Management*. 3rd edition. Moscow: Publishing and Trading Corporation «Dashkov & Co.»; 2023. 192 p. (In Russ.).
4. Petrov V.V. *Theory of Traffic Flow Control in Cities*. Omsk: Siberian State Automobile and Highway University (SibADI); 2020. 101 p. (In Russ.).
5. Boziev O.L. *Applications of the Dynamic Programming Method to Some Decision-Making Problems*. Nalchik. Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekov; 2008. 46 p. (In Russ.).
6. Gasnikov A.V., Klenov S.L., Nurminsky E.A. *Introduction to Mathematical Modeling of Traffic Flows*. 2nd edition, corrected and supplemented. Moscow: Moscow Center for Continuous Mathematical Education; 2013. 428 p. (In Russ.).
7. Buslaev A.P., Novikov A.V., Tatashev A.G., Yashina M.V. *Probabilistic and Simulation Approaches to Road Traffic Optimization: monograph*. Moscow: Mir; 2003. 367 p. (In Russ.).
8. Skorobogatchenko D.A. *Road Traffic Simulation*. Volgograd: Volgograd State Technical University; 2017. 105 p. (In Russ.).
9. Belokurov V.P., Spodarev R.A., Belokurov S.V. Determining passenger traffic as important factor in urban public transport system. *Transportation research Procedia: XIV International Conference on Organization and Traffic Safety Management in Large Cities (OTS-2020)*, 2020. P. 52–58. DOI: 10.1016/j.trpro.2020.10.007.
10. Dorokhin S.V., Artemov A.Y., Likhachev D.V. Traffic simulation: An analytical review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: VIII International Scientific Conference Transport of Siberia*. Novosibirsk: IOP Publishing Ltd; 2020. P. 012058. DOI: 10.1088/1757-899X/918/1/012058.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Штепа Алексей Анатольевич, старший преподаватель кафедры организации перевозок и безопасности движения, Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, Воронеж, Российская Федерация.

e-mail: alexei_shtepa@mail.ru

ORCID: [0000-0003-0800-1975](https://orcid.org/0000-0003-0800-1975)

Aleksey Anatolyevich Shtepa, Senior Lecturer at the Department of Transportation Organization and Traffic Safety, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, the Russian Federation.

Белокуров Владимир Петрович, доктор технических наук, профессор кафедры организации перевозок и безопасности движения, Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, Воронеж, Российская Федерация.

e-mail: opbd_vglta@mail.ru

Кораблев Руслан Александрович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры организации перевозок и безопасности движения, Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, Воронеж, Российская Федерация.

e-mail: korablev_ruslan@mail.ru

Бусарин Эдуард Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры организации перевозок и безопасности движения, Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, Воронеж, Российская Федерация.

e-mail: busarin.eduard@mail.ru

Vladimir Petrovich Belokurov, Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of Transportation Organization and Traffic Safety, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, the Russian Federation.

Ruslan Aleksandrovich Korablev, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor at the Department of Transportation Organization and Traffic Safety, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, the Russian Federation.

Eduard Nikolayevich Busarin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Transportation Organization and Traffic Safety, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, the Russian Federation.

Статья поступила в редакцию 25.01.2023; одобрена после рецензирования 14.04.2023; принята к публикации 10.05.2023.

The article was submitted 25.01.2023; approved after reviewing 14.04.2023; accepted for publication 10.05.2023.