

<https://doi.org/10.21122/2227-1031-2023-22-4-301-307>

УДК 625.033.34

Метод определения достаточности сети автомобильных дорог региона

Доктора техн. наук П. А. Пегин¹⁾, Д. В. Капский²⁾,
А. А. Ильин¹⁾, Е. В. Рунев¹⁾

¹⁾Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I
(Санкт-Петербург, Российская Федерация),

²⁾Высшая аттестационная комиссия Республики Беларусь (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2023
Belarusian National Technical University, 2023

Реферат. Оценка состояния опорной сети автомобильных дорог региона необходима для определения уровня транспортной доступности и мобильности населения в конкретном районе. Опорная сеть автомобильных дорог – это дороги, по которым осуществляются перевозки грузов и пассажиров на личном, общественном и коммерческом транспорте. В настоящее время оценку сети автомобильных дорог производят с помощью географических, экономических, математических и общетехнических параметров. Недостатком этих способов оценки является отсутствие комплексного анализа как уровня развития опорной сети автомобильных дорог, так и транспортной доступности региона. Авторы предлагают метод аддитивного многокритериального моделирования с использованием весовых коэффициентов. Рассмотрены параметры и выбраны весовые коэффициенты, существенно влияющие на достоверность определения достаточности сети автомобильных дорог. Выполнен анализ отдельных критериев качества транспортной сети. На основании использования статистических параметров определены значения весовых коэффициентов аддитивной модели. Предложенный метод с применением аддитивной многокритериальной модели является достоверным и универсальным, что позволяет комплексно оценивать опорную сеть автомобильных дорог в совокупности с другими путями сообщения (железнодорожным, авиационным и водным транспортом). Кроме того, метод может стать частью методологии обоснования включения проектируемых автомобильных дорог в опорную сеть региона.

Ключевые слова: дорога, автомобиль, регион, транспортная сеть, плотность дорожной сети, коэффициент качества достаточности сети, экспертная оценка, коэффициент аддитивности, матрица ковариаций, множественная регрессионная модель

Для цитирования: Метод определения достаточности сети автомобильных дорог региона / П. А. Пегин [и др.] // *Наука и техника*. 2023. Т. 22, № 4. С. 301–307. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2024-22-4-301-307>

Method to Define Whether the Road Network is Sufficient for the Region

P. A. Pegin¹⁾, D. V. Kapski²⁾, A. A. Ilyin¹⁾, E. V. Runev¹⁾

¹⁾Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University (Saint Petersburg, Russian Federation),

²⁾Higher Attestation Commission of the Republic of Belarus (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. An assessment of the state of the region's core road network is necessary to determine the level of transport accessibility and mobility of the population in a particular area. The core road network is the roads along which goods and passengers are transported by personal, public and commercial vehicles. Currently, the assessment of the road network is carried out using geographical, economic, mathematical and general technical parameters. The disadvantage of these assessment methods is the lack of a comprehensive analysis of both the level of development of the core road network and the transport accessibility of the region. The authors propose a method of additive multicriteria modeling using weight coefficients. The parameters

Адрес для переписки

Капский Денис Васильевич
Высшая аттестационная комиссия Республики Беларусь
просп. Независимости, 66,
220072, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 368-11-57
d.kapsky@gmail.com

Address for correspondence

Kapski Denis V.
Higher Attestation Commission of the Republic of Belarus
66, Nezavisimosty Ave.,
220072, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 368-11-57
d.kapsky@gmail.com

have been considered and weight coefficients have been selected, which significantly affect the reliability of determining the sufficiency of the road network. The analysis of individual criteria for the quality of the transport network has been carried out. Based on the use of statistical parameters, the values of the weight coefficients of the additive model have been determined. The proposed method using an additive multi-criteria model is reliable and universal, which makes it possible to comprehensively evaluate the core network of roads in conjunction with other means of communication (railway, air and water transport). In addition, the method can become part of the methodology for substantiating the inclusion of the designed roads in core network of the region.

Keywords: road, car, region, transport network, traffic network density, ranking method, scoring method, expert estimation, additivity factor, covariance matrix

For citation: Pegin P. A., Kapski D. V., Ilyin A. A., Runev E. V. (2023) Method to Define Whether the Road Network is Sufficient for the Region. *Science and Technique*. 22 (4), 301–307. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2022-22-4-301-307> (in Russian)

Введение

Перед проектировщиками, занимающимися вопросами, связанными с проектированием новой опорной сети и модернизацией, неизбежно встает вопрос: будет ли она эффективной? Методы решения данной задачи изложены в [1–6]. В большинстве опубликованных работ в качестве основных критериев оценки используются относительные коэффициенты, которые в зависимости от исходных параметров можно разделить на показатели:

- географические;
- экономические;
- математические;
- общетехнические.

Для оценки эффективности работы опорной сети автомобильных дорог региона и внесения корректировок в существующую сеть предлагается использовать параметры, приведенные на рис. 1 [7–9].

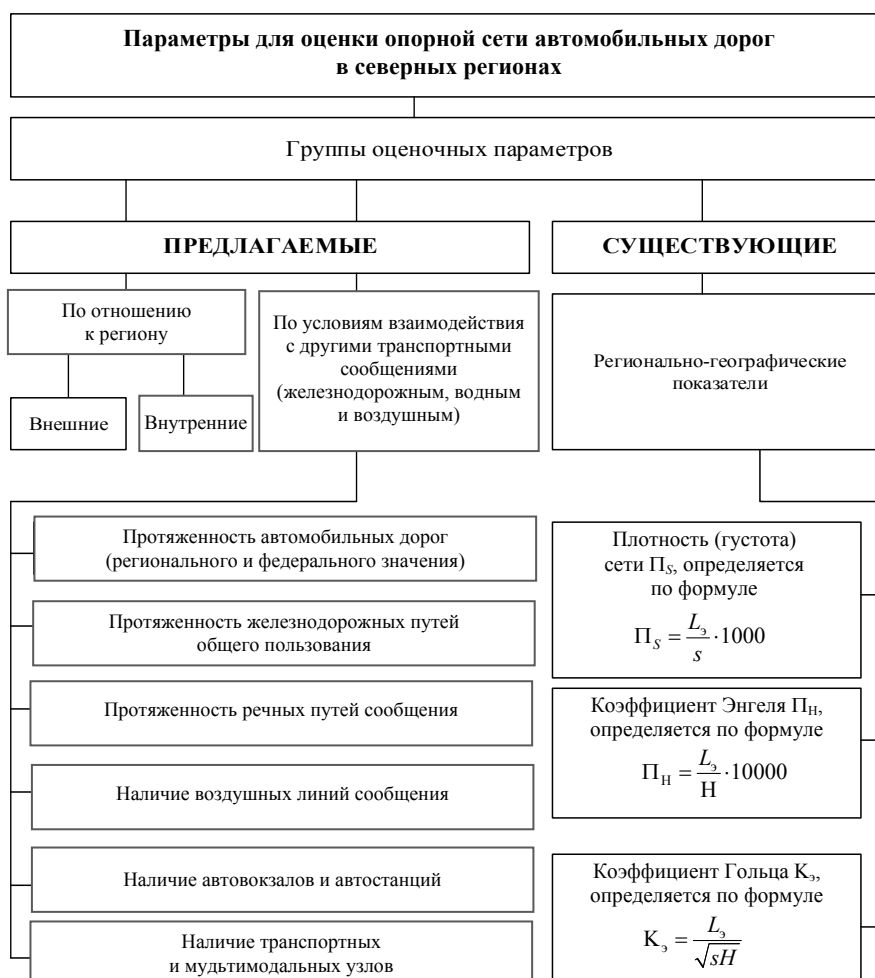


Рис. 1. Параметры для оценки опорной сети автомобильных дорог региона

Fig. 1. Parameters for assessing the core road network of the region

Аддитивная многокритериальная модель

При рассмотрении аддитивной многокритериальной модели достаточности сети муниципальных автомобильных дорог введем следующие обозначения:

Y – коэффициент достаточности сети автомобильных дорог, определяемый по совокупным признакам (факторам);

X_i – факторы, влияющие на качество сети автомобильных дорог (случайные величины), $i = 1, \dots, n$;

$x_{i_1}, x_{i_2}, \dots, x_{i_m}$ – выборочное значение i -го фактора в m муниципальных образованиях;

$y_{i_1}, y_{i_2}, \dots, y_{i_m}$ – то же коэффициента качества сети в m муниципальных образованиях.

Зависимость коэффициента транспортной сети (аддитивная модель) представляет уравнение следующего вида:

$$\hat{Y} = \alpha_1 \hat{X}_1 + \dots + \alpha_n \hat{X}_n, \quad (1)$$

где $\hat{Y} = y_1, \dots, y_m$ – значение коэффициента качества достаточности сети, определяемого совокупностью признаков X_i , α_i ; весовые коэффициенты (параметры модели), определяемые методами экспертных оценок, удовлетворяющие условию нормировки $\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$; $\hat{X}_i = x_{i_1}, \dots, x_{i_m}$ – значение i -го признака по m муниципальным образованиям.

В указанной модели \hat{Y} – значение линейного функционала $\hat{Y} = F(\hat{X}_1, \dots, \hat{X}_n)$ относительно переменных $\{\hat{X}_i\}$. Указанный функционал удовлетворяет условию невырожденности: если признаки принимают нулевые значения: $\hat{X}_i = 0, \dots, 0$, то

$$\hat{Y} = F((0, \dots, 0)_1, \dots, (0, \dots, 0)_n) = 0.$$

Для объективного оценивания транспортной сети рассмотрим два метода определения весовых коэффициентов аддитивной модели: метод ранжирования и метод приписывания баллов.

Метод ранжирования

$$\alpha_i = \frac{r_i}{\sum_{i=1}^n r_i}, \quad (2)$$

где r_i – суммарная оценка всех l экспертов для данного i -го признака,

$$r_i = \sum_{j=1}^l r_{ji};$$

r_{ij} – оценка, присвоенная j -м экспертом i -му признаку (критерию); $i = 1, \dots, n$.

Метод приписывания баллов

$$r_{ji} = \frac{h_{ji}}{\sum_{i=1}^n h_{ji}}, \quad (3)$$

где h_{ij} – балл j -го эксперта для i -го критерия;

$\sum_{i=1}^n h_{ij}$ – сумма j -й строки.

Тогда, учитывая, что

$$r_i = \sum_{j=1}^l r_{ji},$$

получим

$$\alpha_i = \frac{r_i}{\sum_{i=1}^n r_i}.$$

В процессе выполнения работ оценки эффективности опорной сети автомобильных дорог экспертов необходимо подбирать таким образом, чтобы они имели равную компетентность. Если это невозможно сделать, то в расчетах необходимо вводить поправочный коэффициент. Пусть компетентность j -го эксперта оценивается положительной величиной β_j (вес эксперта). Будем считать, что веса компетентности экспертов нормированы

$$\sum_{j=1}^l \beta_j = 1.$$

Тогда для метода ранжирования r_i рассчитаем по формуле

$$r_i = \sum_{j=1}^l r_{ji} \beta_j.$$

Аналогичную формулу получаем для метода приписывания баллов [4, 10].

Иногда значения β_j выбирают из интервала $0 \leq \beta_j \leq 1$.

При решении задачи по оценке состояния опорной сети в девяносто пяти случаях из 100 результаты оценки каждого эксперта заранее не известны. Эти результаты, согласно теории вероятностей, следует рассматривать как значения (реализации), принимаемые некоторой случайной величиной [11–13]. Тогда для оценки параметров сети будем использовать методы математической статистики.

Среднее значение оценки для i -го параметра сети определим по формуле

$$\bar{r}_i = \frac{\sum_{j=1}^l r_{ji}}{l} = \frac{1}{l} \sum_{j=1}^l r_{ji} = \frac{r_i}{l}. \quad (4)$$

Среднее значение выражает коллективное мнение группы экспертов о параметрах оценки сети. При применении данного метода необходимо стремиться к тому, чтобы расхождения в оценке экспертов были минимальными. В процессе подготовки заключения об оценке эффективности опорной сети рекомендуется учитывать степень согласованности мнений экспертов. В качестве критерия согласованности мнения экспертов в новой методике предлагается использовать выборочную дисперсию оценок

$$\sigma_i^2 = \frac{1}{l} \sum_{j=1}^l (r_{ji} - \bar{r}_i)^2. \quad (5)$$

О том, что оценки экспертов имеют большую сходимость, свидетельствует меньшее значение дисперсии. Данный параметр предпочтительно использовать при оценке состояния дорожно-транспортной сети. При этом для оценки надежности принятого экспертами решения используется коэффициент вариации

$$\beta = \frac{\sigma_i}{r_i}.$$

Для уравнения интегрального показателя оценки состояния сети необходимы весовые коэффициенты. В предлагаемой методике с использованием метода ранжирования целесообразно их определять на основании среднего значения оценки \bar{r}_i

$$\alpha_i^* = \frac{\bar{r}_i}{\sum_{i=1}^n \bar{r}_i}, \quad i = \overline{1, n}. \quad (6)$$

Для того чтобы экспертиза была достоверной, необходимо в методике заранее установить следующие параметры:

- численный состав экспертной группы;
- уровень компетентности экспертов (наличие ученой степени, опыт работы в данной отрасли);
- перечень параметров оценки сети.

Применение формальных методов определения весовых коэффициентов

Рассматриваются методы, позволяющие на основании информации о качестве значений отдельных признаков (критериев) качества транспортной сети определять значения весовых коэффициентов аддитивной модели [13, 14].

Первый метод. Для каждого отдельного признака (критерия) качества транспортной X_i сети ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) на основании максимального и минимального значения вычисляется коэффициент относительного разброса по формуле

$$\Delta_i = \frac{\hat{X}_{i\max} - \hat{X}_{i\min}}{\hat{X}_{i\max}} = 1 - \frac{\hat{X}_{i\min}}{\hat{X}_{i\max}}, \quad (7)$$

где $\hat{X}_{i\min} = \min \hat{X}_i$; $\hat{X}_{i\max} = \max \hat{X}_i$, который определяет максимально возможное отклонение по i -му признаку. Весовые коэффициенты α_i принимают наибольшее значение для тех критериев, относительный разброс которых в области оценок наиболее значителен:

$$\alpha_i = \frac{\Delta_i}{\sum_{k=1}^n \Delta_k}, \quad i = 1, \dots, n. \quad (8)$$

Второй метод. Пусть все $\hat{X}_{i\min} \neq 0$ ($i = 1, 2, \dots, n$). Тогда рассматриваются коэффициенты, которые характеризуют отклонение отдельного признака от его наименьшего значения:

$$\beta_i = \frac{\hat{X}_i - \hat{X}_{i\min}}{\hat{X}_{i\min}}, \quad (9)$$

Принимаем, что значимость показателя, характеризующего опорную сеть, зависит от выполнения неравенства (критерия)

$$\beta_i \leq \alpha_i. \quad (10)$$

Здесь константы α_i задаются исследователем из условия: чем важнее параметр, характеризующий опорную сеть, тем меньше выбирается значение α_i .

Пусть R_i^* – наибольший радиус шара, построенного около точки минимума ($\hat{X}_i^* - i$)-го признака, внутри которого точки $\hat{X}_i \in B_{R_i^*}(\hat{X}_i^*)$ (шар радиуса R_i^* с центром в \hat{X}_i^*) удовлетворяют условию. Тогда

$$R_i^* = \max_{\beta_i \leq \alpha_i} \left\{ \sqrt{\sum_{k=1}^m (x_{ik} - x_{ik}^*)^2} \right\} = \max_{\beta_i \leq \alpha_i} \|\hat{X}_i - \hat{X}_i^*\|,$$

при условии

$$\beta_i = \frac{\hat{X}_i - \hat{X}_{i\min}}{\hat{X}_{i\min}} \leq \alpha_i. \quad (11)$$

Очевидно, что чем больше радиус шара R_i^* , в котором относительное отклонение i -го признака от его минимального значения не превосходит α_i , тем меньше надо выбирать значение весового коэффициента α_i

$$\alpha_i = \frac{1}{R_i^*}, \quad i = 1, \dots, n. \quad (12)$$

Оценка коэффициентов аддитивной многокритериальной модели

Рассматривается задача оценивания коэффициентов аддитивной многокритериальной модели качества сети муниципальных автомобильных дорог. Зависимость коэффициента транспортной сети представлена в виде множественной регрессионной модели:

$$Y = \lambda_1 X_1 + \dots + \lambda_n X_n + \xi, \quad (13)$$

где ξ – случайная помеха (отклонение); λ_i – весовые коэффициенты (параметры модели).

Заметим, что Y, X_i – случайные величины, имеющие неизвестное нам распределение.

Для определения весовых коэффициентов модели исходной точкой является предположе-

ние, что совокупность случайных величин X_i – попарно некоррелированные факторы, т. е.

$$\text{cov}(X_i, X_j) = DX_i \delta_{ij},$$

или, что равносильно:

$$r(X_i, X_j) = \delta_{ij}.$$

В случае базиса из некоррелированных случайных факторов для весовых коэффициентов легко получить выражения

$$\lambda_i = \frac{\text{cov}(Y, X_i)}{DX_i}, \quad (14)$$

а уравнение множественной регрессии запишется в виде

$$\frac{y}{\sqrt{DY}} = \sum_{i=1}^n r(Y, X_i) \frac{x_i}{\sqrt{DX_i}}. \quad (15)$$

В случае, если распределения заданы выборками, то оценки для весовых коэффициентов можно получить из формул для выборочных моментов распределения:

$$DY \rightarrow S_Y^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{k=1}^m (y_k - \bar{Y})^2; \quad (16)$$

$$DX_i \rightarrow S_{X_i}^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{k=1}^m (x_{ik} - \bar{X}_i)^2; \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \text{cov}(Y, X_i) &\rightarrow C_m(Y, X_i) = \\ &= \frac{1}{m-1} \sum_{k=1}^m (y_k - \bar{Y})(x_{ik} - \bar{X}_i); \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} r(Y, X_i) &\rightarrow r_m(Y, X_i) = \\ &= \frac{\sum_{k=1}^m (y_k - \bar{Y})(x_{ik} - \bar{X}_i)}{\sqrt{\sum_{k=1}^m (y_k - \bar{Y})^2 (x_{ik} - \bar{X}_i)^2}}; \end{aligned} \quad (19)$$

$$\lambda_i^* = \frac{C_m(Y, X_i)}{S_{X_i}^2} = \frac{\sum_{k=1}^m (y_k - \bar{Y})(x_{ik} - \bar{X}_i)}{\sum_{k=1}^m (x_{ik} - \bar{X}_i)^2}. \quad (20)$$

Вычисление матрицы парных ковариаций и корреляций. Матрица ковариаций

$$C = \left(c_{ij} = \frac{1}{m-1} \sum_{k=1}^m (x_{ik} - \bar{X}_i)(x_{jk} - \bar{X}_j) \right)_{i,j=1}^n. \quad (21)$$

Матрица корреляций

$$R = \left(r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^m (x_{ik} - \bar{X}_i)(x_{jk} - \bar{X}_j)}{\sqrt{\sum_{k=1}^m (x_{ik} - \bar{X}_i)^2 \sum_{k=1}^m (x_{jk} - \bar{X}_j)^2}} \right)_{i,j=1}^n. \quad (22)$$

ВЫВОДЫ

1. Выбор составляющих элементов транспортной опорной сети региона позволит повысить уровень транспортной доступности населенных пунктов и обеспечить транспортную мобильность населения. Особенно это актуально, когда планируется развитие региона на долгосрочную перспективу с привязкой к видам транспорта, объемам перевозки грузов и пассажиров.

2. Обоснована возможность применения аддитивной многокритериальной модели для:

- разработки метода обоснования включения проектируемой автомобильной дороги в опорную сеть региона;
- оценки эффективности опорной сети;
- оценивания коэффициентов качества сети муниципальных автомобильных дорог.

ЛИТЕРАТУРА

1. Azemsha, S. A Method for Assessing the Automobiliation Impact on Population Morbidity / S. A. Azemsha // *Transportation Research Procedia*. 2018. Vol. 36. P. 18–24. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.12.037>.
2. Belyaev, A. I. Efficiency of Vehicle Operation / A. I. Belyaev, A. S. Afanasyev // *International Journal of Economics and Financial*. 2016. Vol. 6, Iss. 2. P. 24–30.
3. Pegin, P. P. Method to Assess Accident Psychological Severity in Drivers / P. P. Pegin, O. A. Pegina // *Transportation Research Procedia*. 2018. Vol. 36. P. 562–566. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.12.152>.
4. Балалаев, А. С. Транспортно-логистическое взаимодействие при мультимодальных перевозках: монография [Электронный ресурс] / А. С. Балалаев, Р. Г. Ле-

онтьев. М.: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2012. 268 с. Режим доступа: <https://elibrary.ru/tyrpfb>.

5. Красильщиков, И. М. Проектирование автомобильных дорог / И. М. Красильщиков, Л. В. Елизаров. М.: Транспортная компания, 2016. 215 с.
6. Пегин, П. А. Особенности транспортного планирования сети муниципальных автомобильных дорог с учетом климатических условий / П. А. Пегин, А. А. Ильин // *Вестник гражданских инженеров*. 2019. Т. 73, № 2. С. 131–135.
7. Ilyin, A. Features Transport Planning the Network of Municipal Roads in Northern Region / A. Ilyin, P. Pegin, K. Semenova // *Transportation Soil Engineering in Cold Regions*. Singapore: Springer, 2020. Vol. 1. P. 397–401. (Lecture Notes in Civil Engineering. Vol. 49). https://doi.org/10.1007/978-981-15-0450-1_41.
8. Капский, Д. В. Разработка модели транспортных потоков на улично-дорожной сети города / Д. В. Капский, Д. В. Навой, П. А. Пегин // *Наука и техника*. 2019. Т. 18, № 1. P. 47–54. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2019-18-1-47-54>.
9. Menukhova, T. A. Application of Methods of the Solution of Multi-Criteria Tasks for Choosing an Effective Cargo Delivery Scheme / T. A. Menukhova, A. S. Afanasyev // *International Journal of Economic Research*. 2017. Vol. 7, No 14. P. 87–94.
10. Pegin, P. The Effect of Sun Glare: Concept, Characteristics, Classification / P. Pegin, E. Sitnichuk // *Transportation Research Procedia*. 2017. Vol. 20. P. 474–479. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.01.077>.
11. Домке, Э. Р. Пути сообщения, технологические сооружения / Э. Р. Домке, Ю. М. Ситников, К. С. Подшивалова. М.: Изд. центр «Академия», 2013. 400 с.
12. Неруш, Ю. М. Транспортная логистика / Ю. М. Неруш, С. В. Саркисов. М.: Юрайт, 2016. 351 с.
13. Пегин, П. А. Улучшение сети муниципальных автомобильных дорог (на примере Ленинградской области) / П. А. Пегин, А. А. Ильин // *Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте ПТГ2018: Материалы I Междунар. науч.-практ. конф. Липецк, 12–13 декабря 2018 г. Липецк: Липецкий государственный технический университет, 2018. Т. 2. С. 234–237*.
14. Скирковский, С. В. Разработка алгоритма и компьютерной программы оптимизации параметров функционирования городского маршрутизированного транспорта / С. В. Скирковский, П. А. Пегин // *Вестник гражданских инженеров*. 2017. Т. 60, № 1. С. 277–287.

Поступила 15.06.2022

Подписана в печать 23.08.2022

Опубликована онлайн 29.07.2023

REFERENCES

1. Azemsha S., Kapski D., Pegin P. (2018) A Method for Assessing the Automobiliation Impact on Population Morbidity. *Transportation Research Procedia*, 36, 18–24 <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.12.037>.

2. Belyaev A. I., Afanasyev A. S. (2016) Efficiency of Vehicle Operation. *International Journal of Economics and Financial*, 6 (2), 24–30.
3. Pegin P. P., Pegina O. A. (2018) Method to Assess Accident Psychological Severity in Drivers. *Transportation Research Procedia*, 36, 562–566. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.12.152>.
4. Balalayev A. S., Leont'ev R. G. (2012) *Transport and Logistics Interaction in Multimodal Transportation*. Moscow, Publishing House of Educational and Methodological Center for Education in Railway Transport (Route). 268. Available at: <https://elibrary.ru/ryrpfb> (in Russian).
5. Krasilshchikov I. M., Yelizarov L. V. (2016) *Road Design*, Moscow, Transportnaya Kompaniya Publ. 215 (in Russian).
6. Pegin P. A., Ilyin A. A. (2019) Features of Transport Planning of the Network of Municipal Highways, Taking Into Account Climatic Conditions. *Vestnik Grazhdanskikh Inzhenerov = Bulletin of Civil Engineers*, 73 (2), 131–135 (in Russian).
7. Ilyin A., Pegin P., Semenova K. Features Transport Planning the Network of Municipal Roads in Northern Region. *Transportation Soil Engineering in Cold Regions. Vol. 1. Lecture Notes in Civil Engineering. Vol. 49*. Singapore: Springer, 397–401. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0450-1_41.
8. Kapskiy D. V., Navoy D. V., Pegin P. (2019) Development of Model for Traffic Flows on Urban Street and Road Network. *Nauka i Technika = Science and Technique*, 18 (1), 47–54 (in Russian). <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2019-18-1-47-54>.
9. Menukhova T. A., Afanasyev A. S. (2017) Application of Methods of the Solution of Multi-Criteria Tasks for Choosing an Effective Cargo Delivery Scheme. *International Journal of Economic Research*, 7 (14), 87–94.
10. Pegin P., Sitnichuk E. (2017) The Effect of Sun Glare: Concept, Characteristics, Classification. *Transportation Research Procedia*, 20, 474–479. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.01.077>.
11. Domke E. R., Sitnikov Yu. M., Podshivalova K. S. (2013) *Communication Routes, Technological Facilities*. Moscow, Akademiya Publ. 400 (in Russian).
12. Nerush Yu. M., Sarkisov S. V. (2016) *Transport Logistics*. Moscow, Yurayt Publ. 351 (in Russian).
13. Pegin P. A., Ilyin A. A. (2018) Improving the Network of Municipal Roads (on the Example of the Leningrad Region). *Infokommunikatsionnye i Intellektual'nye Tekhnologii na Transporte IITT'2018: Materialy I Mezhdunar. Nauch.-Prakt. Konf., Lipetsk, 12–13 Dekabrya 2018 g. T. 2* [Infocommunication and Intelligent Technologies in Transport IITT'2018: Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference, December 12–13, 2018. Vol. 2. Lipetsk, Lipetsk State Technical University, 234–237 (in Russian).
14. Skirkovsky S. V., Pegin P. A. (2017) Development of an Algorithm and a Computer Program for Optimizing the Parameters of the Operation of Urban Routed Transport. *Vestnik Grazhdanskikh Inzhenerov = Bulletin of Civil Engineers*, 60 (1), 277–287 (in Russian).

Received: 15.06.2022

Accepted: 23.08.2022

Published online: 29.07.2023