

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГ, МЕТРОПОЛИТЕНОВ, АЭРОДРОМОВ, МОСТОВ И ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ

## ENGINEERING AND CONSTRUCTION OF ROADS, SUBWAYS, AIRDROMES, AND TUNNELS

Вестник Томского государственного  
архитектурно-строительного университета.  
2024. Т. 26. № 5. С. 173–182.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)  
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo  
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –  
Journal of Construction and Architecture.  
2024; 26 (5): 173–182.  
Print ISSN 1607-1859  
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 625.04

DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-5-173-182

EDN: PDPPPO

### МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ МАРШРУТОВ ОБЪЕЗДА РЕМОНТИРУЕМЫХ ГОРОДСКИХ ПУТЕПРОВОДОВ

**Сергей Васильевич Алексиков, Аким Александрович Кандалов**

*Волгоградский государственный технический университет,  
г. Волгоград, Россия*

**Аннотация.** *Актуальность.* При ремонте городских путепроводов важно обеспечить минимальные транспортные потери автотранспортом на период проведения дорожных работ.

*Цель исследования* – разработка методики обоснования оптимального маршрута объезда ремонтируемого городского путепровода по прилегающей к объекту улично-дорожной сети.

На основе исследований установлена зависимость средней скорости автомобилей и себестоимости перевозок от расстояния между регулируемыми перекрестками и уровня их загрузки. Разработан алгоритм обоснования маршрута объезда строительного объекта.

*Результаты.* На основе факторного анализа разработана методика обоснования маршрута объезда строительного объекта по существующей улично-дорожной сети с учетом уровня ее загрузки городским транспортом, состояния проезжей части, светофорных объектов, протяженности маршрута.

**Ключевые слова:** путепровод, маршрут объезда, уровень загрузки, улично-дорожная сеть, прочность, проезжая часть, регулируемые перекрестки

**Для цитирования:** Алексиков С.В., Кандалов А.А. Методы оптимизации маршрутов объезда ремонтируемых городских путепроводов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26. № 5. С. 173–182. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-5-173-182. EDN: PDPPPO

## ORIGINAL ARTICLE

**METHODS OF DIVERSION ROAD IMPROVEMENT OF OVERPASSES UNDER REPAIR****Sergey V. Aleksikov, Akim A. Kandalov***Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia*

**Abstract.** During the repair of motorway junctions, it is important to minimize transportation losses by urban vehicles for the period of road works.

**Methodology:** Factor analysis.

**Purpose:** The aim of research is to substantiate the best diversion road of the motorway junction under repair in the streets network adjacent to the object.

**Research findings:** The dependence is shown of the average speed of cars and transportation cost on the distance between signalized intersections and traffic load.

**Value:** An algorithm is developed for substantiation of the diversion road for construction site. Justification for the diversion road along the streets network adjacent to the object, is developed using the factor analysis and based on the traffic load, of roadway conditions, traffic lights, route length.

**Keywords:** motorway junction, diversion road, streets network, traffic load, strength, roadway, signalized intersection

**For citation:** Aleksikov S.V., Kandalov A.A. Methods of Diversion Road Improvement of Overpasses Under Repair. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2024; 26 (5): 173–182. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-5-173-182. EDN: PDPPPO

**Введение**

Ремонт и реконструкция городских путепроводов часто относятся к долговременным строительным работам. Как правило, дорожные работы выполняются на одной половине искусственного сооружения с пропуском транзитного транспорта по смежной половине проезжей части (рис. 1).



Рис. 1. Движение транспорта по половине проезжей части во время ремонта путепровода

Fig. 1. Traffic on half of the carriageway during motorway junction repair

Ремонт городских путепроводов, особенно на дорогах с уровнем загрузки более 70 % и на участках, проходящих через железнодорожные пути, часто при-

водит к заторам на прилегающей к объекту улично-дорожной сети (УДС), снижению скорости транспортных потоков до 15–20 км/ч, росту аварийности, ускоренному износу проезжей части УДС [1, 2, 3]. Транспортные заторы на подъездах к ремонтируемому сооружению достигают протяженности 700–900 м в зависимости от уровня загрузки автомагистралей (рис. 2). В связи с этим при разработке проектных решений ремонта и реконструкции сооружений важно обоснованно решить задачу организации объезда ремонтируемого объекта [4].



Рис. 2. Транспортный затор при ремонте путепровода г. Волгограда<sup>70</sup>  
Fig. 2. Traffic jam during repair of the Volgograd overpass

### Факторы, определяющие выбор маршрута объезда строительного объекта

Исследования особенностей организации ремонта объектов городской транспортной инфраструктуры позволили выделить основные этапы и факторы, определяющие выбор оптимального маршрута объезда ремонтируемого объекта на перегруженной более 70 % УДС [5, 6, 7, 8, 9, 10] (рис. 3). Проектные работы рекомендуется выполнять в определенной последовательности:

- предварительный анализ сложившейся УДС в районе дислокации ремонтируемого путепровода с выбором возможных вариантов маршрута объезда объекта;
- анализ возможных маршрутов объезда с учетом ширины и протяженности дорог, их пропускной способности и уровня загрузки в час пик, с учетом примыканий и пересечений в одном уровне;
- анализ интенсивности и состава движения городского и транзитного транспорта на объездных маршрутах;
- отбраковка маршрутов с высокой вероятностью образования транспортных заторов;
- прогноз движения автотранспорта по оставшимся маршрутам в период производства дорожных работ;

<sup>70</sup> URL: [https://yandex.ru/images/search?from=tabbar&img\\_url](https://yandex.ru/images/search?from=tabbar&img_url)

– инструментальная или визуальная оценка состояния проезжей части оставшихся маршрутов с выделением разрушенных участков дорог, подлежащих ремонту;

– расчет технических параметров транспортных потоков по оставшимся направлениям объезда: коэффициента загрузки маршрутов ( $Z$ ), средней скорости транспорта ( $V_{cp}$ ), времени объезда ( $T_{об}$ );

– поиск оптимального проектного решения по суммарным затратам ( $P_j$ ) в период производства работ, включающих сметную стоимость ремонта ( $C_j$ ) дорог на оставшихся маршрутах объезда и автотранспортные затраты ( $\mathcal{E}^{ат}_j$ ). Целевая функция поиска оптимального маршрута имеет вид:

$$P_j = C_j + \mathcal{E}^{ат}_j \rightarrow \min. \quad (1)$$

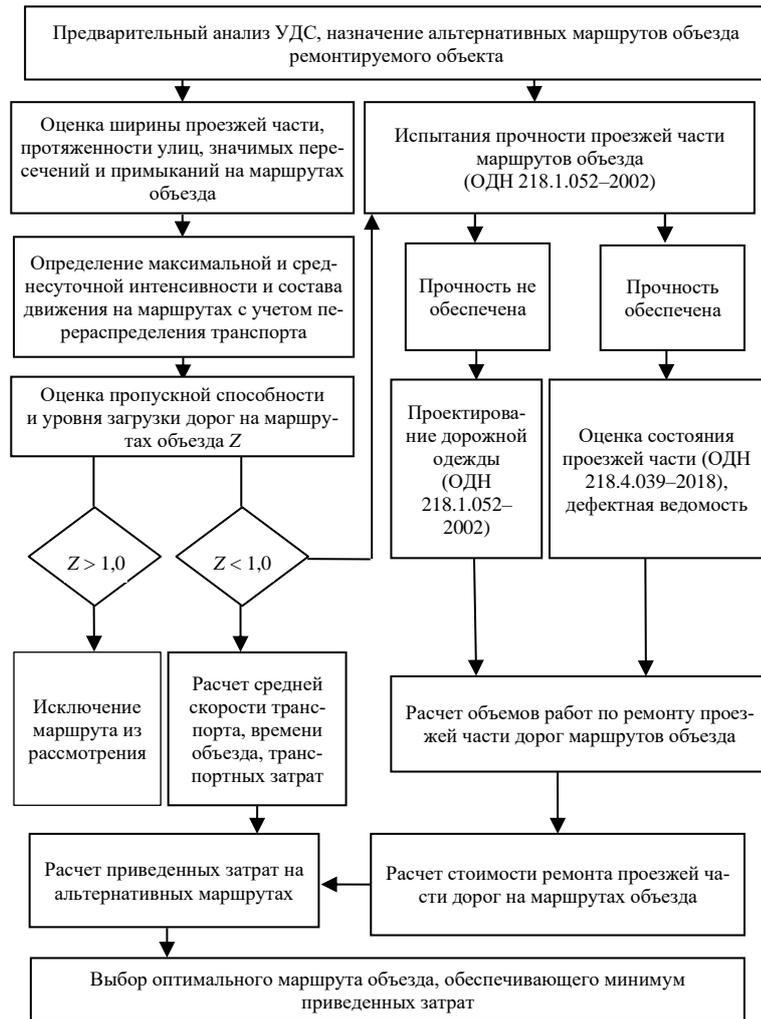


Рис. 3. Блок-схема выбора оптимального маршрута объезда ремонтируемого городского путепровода

Fig. 3. Block diagram of the best diversion road for the motorway junction under repair

Предварительный отбор возможных маршрутов объезда ремонтируемого путепровода выполняется по картографическим и другим техническим материалам группой экспертов, при этом учитывается общая протяженность объезда, ширина проезжей части и ее состояние, наличие загруженных перекрестков, максимальный уровень загрузки дорог маршрута в час пик. Маршруты разбиваются на отдельные участки-перегоны с различной шириной проезжей части и уровнем загрузки в час пик (рис. 4). Смежные участки УДС с разницей в интенсивности движения и ширине проезжей части до 5 % объединяются в один.

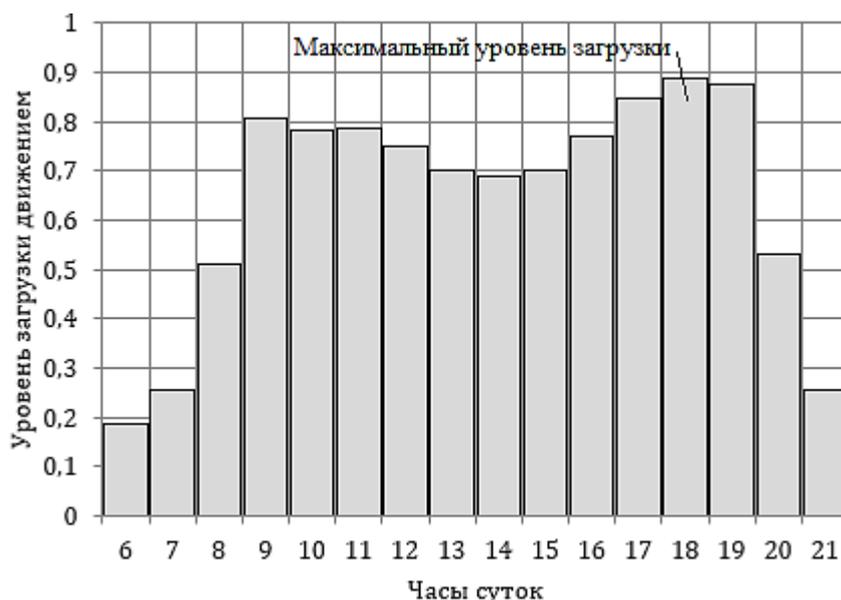


Рис. 4. Изменение уровня загрузки ул. Землячки  
Fig. 4. Traffic load on Zemlyachki Street

Совокупная интенсивность движения ( $N_{i,j}^{сум}$ ) определяется для каждого выделенного  $i$ -го участка  $j$ -го маршрута по формуле

$$N_{i,j}^{сум} = N_{i,j}^{рем} + N_{i,j}, \quad (2)$$

где  $N_{i,j}$  – интенсивность до начала дорожных работ на путепроводе;  $N_{i,j}^{рем}$  – дополнительная интенсивность, перенаправленная на объезд с участка ремонта путепровода.

Коэффициент загрузки ( $Z_{i,j}$ ) для участков объездных маршрутов рассчитывается по известной формуле

$$Z_{i,j} = \frac{N_{i,j}^{сум}}{P_{i,j}}. \quad (3)$$

Расчет коэффициента загрузки требуется для выбраковки намеченных маршрутов объезда объекта. Если на одном из участков (перегонов) интенсив-

ность движения в час пик превышает его пропускную способность ( $Z_{i,j} > 1,0$ ), данный маршрут исключается из дальнейшего рассмотрения в связи с высокой вероятностью образования транспортного затора. Маршрут признается перспективным для дальнейшего рассмотрения при выполнении условия  $Z_{i,j} < 1,0$ .

Известный коэффициент загрузки и протяженность маршрута позволяют рассчитать среднюю скорость транспортного потока ( $V_{\text{cp}}^j$ ). Исследования авторов [2] показали, что на коротких участках УДС между светофорными объектами (перекрестками и примыканиями) протяженностью до 300–500 м на скорость транспортного потока существенно влияет расстояние между светофорами  $L_{\text{п}}$  и уровень загрузки  $Z$  перегона. На коротких перегонах при уровне их загрузки движением транспорта более 80–85 % пропускной способности часто наблюдаются заторы в пределах одного-двух перегонов. При этом средняя скорость в зависимости от перечисленных выше факторов имеет вид:

$$V_{\text{cp}}^j = \frac{4,68L_{\text{п}}^{0,11}}{Z_j^{1,473}}, \quad (4)$$

где  $Z_j$  – коэффициент загрузки маршрута в целом, рассчитывается как средневзвешенная величина по формуле

$$Z_j = \frac{\sum_{i=1}^I (N_{i,j}^{\text{сум}} / P_{i,j}) l_{i,j}}{L_j}, \quad (5)$$

где  $P_{i,j}$ ,  $l_{i,j}$  – соответственно пропускная способность и протяженность  $i$ -го перегона  $j$ -го маршрута;  $L_j$  – длина  $j$ -го маршрута.

При увеличении расстояния между регулируемыми перекрестками до 600 м и более влияние регулируемых перекрестков снижается, скорость потока зависит от уровня загрузки:

$$V_{\text{cp}}^j = \frac{115,83}{e^{2,64Z_j}}. \quad (6)$$

Для оценки перспективности  $j$ -го маршрута важно знать время объезда объекта ( $T_{\text{об}}^j$ ):

$$T_{\text{об}}^j = \sum_{j=1}^N \frac{L_j}{V_{\text{cp}}^j}. \quad (7)$$

Затраты на осуществление перевозок по  $j$ -му маршруту, согласно [11], рассчитываются по формуле

$$\mathcal{E}_j^{\text{ар}} = T_{\text{стр}} \sum_{i=1}^I N_{i,j}^{\text{сум}} (S_{i,j} \cdot L_j + C_{i,j} \cdot t_{i,j}), \quad (8)$$

где  $T_{\text{стр}}$  – продолжительность ремонта или реконструкции путепровода, сут;

$N_{i,j}^{\text{сум}}$  – суточная совокупная интенсивность движения автомобилей  $i$ -го типа по  $j$ -му маршруту, авт/сут;  $S_{i,j}$  – средняя себестоимость 1 авт.-км пробега автомобилей  $i$ -го типа по  $j$ -му маршруту, руб.;  $C_{i,j}$  – затраты на 1 ч простоя автомо-

биля  $i$ -го типа по  $j$ -му маршруту, руб.;  $t_{i,j}$  – среднесуточное время задержки одного автомобиля в местах затрудненного проезда, ч.

Себестоимость перевозки грузов и пассажиров автомобилем  $i$ -го типа рассчитывается по формуле [11]:

$$S_{i,j} = S_{\text{пер}i} + \frac{S_{\text{пост}i} + d_i}{V_{\text{сп}}^j}, \text{ руб./км}, \quad (9)$$

где  $S_{\text{пер}i}$  – переменные затраты на 1 км пробега автомобиля  $i$ -го типа по маршруту, руб.;  $S_{\text{пост}i}$  – постоянные затраты на 1 ч пребывания автомобиля  $i$ -го типа в наряде, руб.;  $d_i$  – часовая заработная плата водителя автомобиля  $i$ -го типа, руб.

В результате частичного или полного перераспределения транспортного потока с ремонтируемого путепровода на объездную дорогу проезжая часть на ней испытывает повышенные транспортные нагрузки, которые приводят к появлению колеевости, ямочности, сетки трещин и выбоин. В связи с этим часто возникает необходимость в дополнительном ремонте покрытия для обеспечения беспрепятственного пропуска совокупного транспортного потока в период ремонта путепровода. Устройство дополнительного слоя покрытия из плотного асфальтобетона или ЩМА обоснованно при низкой несущей способности проезжей части. При наличии на проезжей части дефектов, не связанных с низкой прочностью, достаточно проведения работ по восстановлению ровности покрытия.

Укрупненная стоимость ремонта проезжей части  $C_j$  маршрута рассчитывается по формуле

$$C_j = \sum_{r=1}^R C_{r,j} \cdot Q_{r,j} \cdot K_{r,j}, \quad (10)$$

где  $C_{r,j}$ ,  $Q_{r,j}$  – соответственно укрупненный показатель сметной стоимости (УПСС) и объем  $r$ -го вида ремонтных работ на  $j$ -м маршруте;  $K_{r,j} = 1,02-1,14$  – поправочный коэффициент, учитывающий стесненные условия производства дорожно-ремонтных работ на проезжей части в условиях одновременного пропуска транспорта по смежной полосе.

Технико-экономическое обоснование оптимального маршрута выполняется путем оценки альтернативных вариантов по минимуму суммарных строительных затрат и транспортных расходов (1) за период ремонта или реконструкции путепровода.

При ремонте путепровода на дорогах с уровнем загрузки более 70 % от пропускной способности или ограниченности исходных данных и времени проектирования обоснование маршрута объезда можно выполнять по упрощенному алгоритму:

- предварительный анализ сложившейся УДС в районе дислокации ремонтируемого путепровода с назначением вариантов объезда;
- оценка намеченных вариантов маршрута объезда с выбором наилучшего группой экспертов на основании следующих показателей: протяженность объезда, ширина проезжей части, интенсивность движения, наличие перегруженных пересечений и примыканий в одном уровне и расстояние между ними;
- при наличии нескольких маршрутов, незначительно отличающихся по коэффициенту загрузки и протяженности, предпочтение следует отдавать варианту с минимальным временем объезда объекта в час пик.

Принятый маршрут объезда объекта, организация движения на нем должны быть согласованы с ГИБДД.

### Заключение

Выполненные исследования показали, что в условиях высокой загрузки улично-дорожной сети (более 70 %) ремонт путепроводов приводит к существенным транспортным издержкам на маршрутах объезда, обусловленных низкой скоростью автомобилей (до 10–15 км/ч) и транспортными заторами на прилегающей УДС, повышенной аварийностью, повышенным износом дорог, используемых для объезда. В связи этим при разработке проектной документации важно решить задачу выбора маршрута объезда ремонтируемого объекта на основе:

- 1) анализа УДС в зоне дислокации ремонтируемого путепровода с выбором конкурирующих маршрутов объезда строительного объекта;
- 2) оценки технических параметров УДС конкурирующих маршрутов объезда;
- 3) прогноза движения транспорта на конкурирующих маршрутах в период ремонта путепровода;
- 4) оценки пропускной способности улиц на маршрутах объезда по коэффициенту загрузки, с расчетом скорости транспорта, времени объезда в час пик и себестоимости перевозки;
- 5) диагностики и оценки технического состояния маршрутов объезда с обоснованием объемов их ремонта;
- 6) расчетов укрупнённой стоимости ремонта проезжей части маршрутов и автотранспортных затрат в период ремонта путепровода;
- 7) оценки альтернативных вариантов и выбора маршрута, обеспечивающего минимум суммарных транспортных и строительных затрат. В условиях загрузки УДС до 70 %, ограниченности данных и времени проектных работ выбор маршрута определяется по минимальному времени объезда ремонтируемого объекта в час пик.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Малахов Р.С., Алексиков С.В. Определение интенсивности движения городского транспорта методом краткосрочных наблюдений // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2017. № 49 (68). С. 92–98.
2. Алексиков С.В., Волченко С.В. Скоростной режим транспортных потоков городских магистралей // Инженерные проблемы строительного материаловедения, геотехнического и дорожного строительства : матер. IV Междунар. науч.-техн. конф., 23–25 сентября 2013 г. Волгоград : ВолГАСУ, 2013. С. 37–46.
3. Алексиков С.В., Карпушко М.О. Исследование затрат городского автотранспорта на участках ремонта улично-дорожной сети // Ресурсо- и энергоэффективные технологии в строительном комплексе региона : сб. науч. тр. по матер. Междунар. науч.-практ. конф. Саратов : СГТУ, 2014. С. 348–352.
4. Алексиков С.В., Данилов И.А., Лескин А.И., Гофман Д.И. Организация ремонта городских дорог в условиях плотных транспортных потоков // Инженерный вестник Дона. 2022. № 4. URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4y2022/7578>
5. Алексиков С.В., Лескин А.И., Гофман Д.И., Альшанова М.И. Влияние ровности дорожного покрытия на себестоимость перевозок и безопасность движения // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2020. № 2 (79). С. 24–31.

6. Алексиков С.В., Лескин А.И., Гофман Д.И., Альшанова М.И. Повышение пропускной способности УДС Волгограда // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2020. № 4 (81). С. 74–83.
7. Русанов М.И., Мирошникова Н.П. Оценка влияния ремонта УДС на пропускную способность дорог // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности : материалы VI Всерос. (с междунар. участием) науч.-техн. конф. мол. исследователей, Волгоград, 22–27 апреля 2019 г. / под общ. ред. Н.Ю. Ермиловой, И.Е. Степановой . Волгоград: Волгogr. гос. техн. ун-т, 2019. С. 84–85.
8. Фишельсон М.С. Транспортная планировка городов. Москва : Высшая школа, 1985. 239 с.
9. Горячев М.Г. Обоснование суммарного размера движения для расчёта нежёстких дорожных одежд с учётом процесса накопления остаточных деформаций : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва, 1999. 250 с.
10. Ullidtz P., Larsen B.K. Mathematical model for predicting pavement performance // Transportation Research Record. 1986. № 4. P. 46–55.
11. СТО АВТОДОР 2.17–2015. Методические рекомендации по технико-экономическому обоснованию применения временных мостов (эстакад, путепроводов) на автомобильных дорогах государственной компании «Автодор». Москва : ГК «Автодор», 2015. 98 с.

#### REFERENCES

1. Malakhov R.S., Aleksikov S.V. Determination of Urban Traffic Load using Short-Term Observations. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Ser.: Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2017; 49 (60): 92–98. (In Russian)
2. Aleksikov S.V., Volchenko S.V. Speed Regime of Traffic Flows in Urban Highways. In: *Proc. 4th Int. Conf. 'Engineering Problems of Constructional Materials Science, Geotechnical Engineering and Road Construction'*. Volgograd, September 23–25, 2013. Pp. 37–46. (In Russian)
3. Aleksikov S.V., Karpushko M.O. Urban Road Transport Costs at Repair Sites of Streets Network. In: *Proc. Int. Conf. 'Resource- and Energy-Efficient Technologies in Regional Construction'*. Saratov, 2014. Pp. 348–352. (In Russian)
4. Aleksikov S.V., Danilov I.A., Leskin A.I., Gofman D.I. Urban Road Repair in Traffic Load Conditions. *Inzhenernyi vestnik Dona*. 2022; (4): 11. Available: [www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2022/7578](http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2022/7578) (In Russian)
5. Aleksikov S.V., Leskin A.I., Gofman D.I., Alshanova M.I. Influence of Pavement on Transportation Cost and Traffic Safety. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Ser.: Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2020; 2 (79): 24–31. (In Russian)
6. Aleksikov S.V., Leskin A.I., Gofman D.I., Alshanova M.I. Increasing the capacity of Volgograd UDS. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Ser.: Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2020; 4 (81): 74–83. (In Russian)
7. Rusanov M.I., Miroshnikova N.P. Assessment of the impact of UDS repair on road capacity. In: *Proc. 6th All-Russ. Conf. 'Relevant problems of Construction, Housing and Communal Services and Technosphere Safety'*, N.Y. Ermilova, I.E. Stepanova, Eds. Volgograd, April 22–27. 2019. Pp. 84–85. (In Russian)
8. Fishelson, M.S. Transport Planning of Cities. Moscow: Vysshaya shkola, 1985. 239 p. (In Russian)
9. Goryachev M.G. Total Traffic Justification for Non-Rigid Pavement Analysis with Regard to Residual Strain Accumulation. PhD Thesis. Moscow, 1999. 250 p. (In Russian)
10. Ullidtz P., Larsen B.K. Mathematical Model for Predicting Pavement Performance. *Transportation Research Record*. 1986; (4): 48–55.
11. СТО Автотор 2.17-2015. Methodological Recommendations for Feasibility Study of Temporary Bridges on Avtodor Highways. Moscow, 2015. 98 p. (In Russian)

#### Сведения об авторах

Алексиков Сергей Васильевич, докт. техн. наук, профессор, Волгоградский государственный технический университет, 400005, г. Волгоград, пр. им. В.И. Ленина, 28, al34rus@mail.ru

*Кандалов Аким Александрович*, аспирант, Волгоградский государственный технический университет, 400005, г. Волгоград, пр. им. В.И. Ленина, 28, [akim.kandalov@yandex.ru](mailto:akim.kandalov@yandex.ru)

**Authors Details**

*Sergey V. Aleksikov*, DSc, Professor, Volgograd State Technical University, 28, Lenin Ave., 400005, Volgograd, Russia, [al34rus@mail.ru](mailto:al34rus@mail.ru)

*Akim A. Kandalov*, Research Assistant, Volgograd State Technical University, 28, Lenin Ave., 400005, Volgograd, Russia, [akim.kandalov@yandex.ru](mailto:akim.kandalov@yandex.ru)

**Вклад авторов**

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.  
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Authors contributions**

The authors contributed equally to this article.  
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 19.06.2024  
Одобрена после рецензирования 13.09.2024  
Принята к публикации 16.09.2024

Submitted for publication 19.06.2024  
Approved after review 13.09.2024  
Accepted for publication 16.09.2024