

УДК 69:502

**С. Ю. Теплых<sup>а</sup>, О. П. Радченко<sup>б</sup>, Д. П. Клочков<sup>б</sup>, Л. М. Весова<sup>б</sup>, А. А. Ляшенко<sup>б</sup>**

<sup>а</sup> Самарский государственный технический университет

<sup>б</sup> Волгоградский государственный технический университет

## **ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ПОСЛЕ МОЙКИ АВТОТРАНСПОРТА НА СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЛОЩАДКАХ**

Рассмотрены источники загрязнения окружающей среды на строительных площадках. Описаны виды экологических загрязнений при некоторых видах строительных работ. Рассмотрены меры повышения экологичности данных работ посредством применения оборотного водоснабжения на установках после обмыва автотранспорта. Рассмотрены основные виды сорбционных материалов для использования в технологиях очистки сточных вод.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** строительное производство, строительный мусор, сточная вода, технология очистки, автотранспорт, сорбент, окружающая среда, экология, мойка автотранспорта, загрязняющее вещество.

### **Введение**

Одной из проблем урбанизированных территорий является изменение под влиянием автотранспортных средств свойств окружающей среды (ОС). Стимулируя развитие экономики и обеспечивая комфортабельные условия жизнедеятельности людей, автомобильный транспорт одновременно оказывает отрицательное воздействие на ОС: происходит загрязнение атмосферы, гидросферы и литосферы, нарушаются принципы функционирования экосистем, происходит их деградация и потеря устойчивости.

При работе автотранспортных предприятий происходит негативное воздействие на ОС, в частности — загрязнение водных бассейнов, в результате чего снижаются их биосферные функции и экологическое значение. Существенное экологическое воздействие оказывает автотранспорт на гидросферу при сбросе в нее неочищенных сточных вод (СВ). Интенсивное загрязнение гидросферы автотранспортом происходит вследствие следующих причин [1]:

- нарушение правил эксплуатации моечных пунктов, в результате чего происходит выброс неочищенных стоков в городскую канализацию;
- неэффективная технология очистки СВ после мойки машин на стройплощадках, не обеспечивающая требуемую степень очистки стоков;
- отсутствие или неэффективное функционирование систем оборотного водоснабжения на предприятиях, которые позволяют возвращать очищенную воду на повторное использование, обеспечивая экологическую надежность и экономическую эффективность [2].

Как показал аналитический обзор [3—5], зачастую образуются загрязненные СВ, в которых состав и концентрация загрязнений во много раз превышают нормативные показатели. При этом основными загрязнителями СВ на строительных площадках являются взвешенные вещества (имеющие органическую или неорганическую природу) [6, 7], нефтепродукты, синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ). В связи с этим данные СВ

необходимо очищать до нормативных требований и возвращать на повторное использование.

### Основная часть

В процессе эксплуатации на строительных площадках автотранспорт сильно загрязняется и требует периодической обмывки. На рисунке 1 представлена фотография загрязненной поверхности автотранспорта.



Рис. 1. Загрязненные поверхности автотранспорта

Наибольшее количество загрязнений в СВ попадает при мойке автотранспорта, а также его агрегатов и деталей, входящей в регламент ежедневного технического обслуживания.

В таблице 1 показана усредненная концентрация загрязнений для разной категории автомобильного транспорта.

Таблица 1

#### Усредненная концентрация загрязнений стока

| Категория автомобилей | Концентрация загрязнений                |                                   |         |  |
|-----------------------|---|-----------------------------------|---------|--|
|                       | Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup> | Нефтепродукты, мг/дм <sup>3</sup> | pH      | БПК <sub>20</sub> , мг O <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> |
| Легковые              | 1500...2000                             | 40...60                           | 6,5...8 | 50...90  |
| Грузовые              | 2500...3500                             | 70...110                          | 6,5...8 | 120...170  |

При организации оборотного водоснабжения исходят из следующих основных требований:

- достаточно высокое и надежное качество очистки СВ без повседневного лабораторного контроля;
- компактность очистных сооружений, возможность размещения их на сравнительно небольшой площади;
- возможность серийного заводского изготовления всех агрегатов очистных сооружений и простота в эксплуатации;
- широкий диапазон производительности установок (путем их комплектации из унифицированных узлов) на различную производственную мощность предприятий.

В связи с вышесказанным целесообразно создавать систему оборотного водоснабжения.

В системах водоподготовки широко используются синтетические и природные сорбенты. К синтетическим относятся: гранулы полипропилена и сипрона, но к их недостаткам следует отнести плохую поглощаемость тонких нефтяных пленок, а также токсичность, особенно в случае пожаров, что ограничивает их применение.

К природным сорбентам относятся: активированные угли, зола, коксовая мелочь; силикагели, алюмогели, активные глины и земли; отходы деревообрабатывающей промышленности и сельского хозяйства; торфяные сорбенты, модифицированные кремнекислотой, поливиниловым спиртом и их смесью; сорбенты, имеющие волокнистую структуру (хлопок, лен, пенька, асбест). Недостатками рассмотренных сорбентов являются: низкие ионообменные свойства (у угля-катализатора) и, следовательно, невозможность очистки стоков, загрязненных ионами металлов; низкая нефтеемкость (у початков кукурузы, соломы, опилок), в связи с чем возникает необходимость применения больших объемов; отсутствие у них гидрофобности; отсутствие механизмов их нанесения; высокая набухаемость (торф) в жидкой среде, что делает невозможным использование в динамических условиях; дорогостоящее получение (сорбенты, получаемые путем извлечения гуматов), что создает проблему для использования в промышленных масштабах; подверженность микробиологическому разложению (волокнистые сорбенты); некоторые из них (трепелы) являются водорастворимыми, что требует дополнительных мер, снижает экономическую эффективность и влечет за собой удорожание всей технологии очистки [8].

Проведем краткий обзор методов очистки СВ на природных сорбентах.

Применяется очистка СВ от нефтепродуктов и взвешенных веществ, включающая зоны отстаивания, коалесценции, двухуровневый цилиндрический механический фильтр с большой рабочей поверхностью из олеофильного сорбционного материала, фильтр с плавающей загрузкой, сорбционный фильтр с активированным углем. Слив очищенной воды из сорбционного фильтра с активированным углем происходит в верхней части [9]. Недостатком является низкая эффективность очистки ливневых СВ. Кроме того, используемые активированные угли обладают повышенной горючестью.

Существует сорбент из шелухи вызревших семечек подсолнечника, для чего шелуху измельчают в муку, затем гидролизуют в растворе кислоты. Предлагается проводить дополнительную обработку сорбента перед сушкой этиловым спиртом. В результате образуется черный порошок, без вкуса и запаха, нерастворимый в воде, щелочах и кислотах [10]. Недостатком данного сорбента является его высокая стоимость из-за множества технологических операций, использования дорогих реагентов.

Известен способ очистки СВ, включающий введение в них сорбента, воздействие ионизирующим излучением, отделение отработанного сорбента и его утилизацию [11]. Однако степень очистки СВ от загрязнений при использовании данного способа невысокая, а отработанный сорбент утилизируется захоронением, что приводит к неблагоприятным экологическим последствиям. Кроме того, применяемый сорбент требует специального приготовления по технологии, неблагоприятно влияющей на окружающую среду.

Известен сорбент из измельченного отхода гидроалюминатного бетона. Очистку осуществляют фильтрованием через сорбент с толщиной слоя 0,05...0,06 м, масса которого составляет 15...20 г. Использование вышеуказанного способа обеспечивает повышение эффективности очистки СВ от ионов меди, уменьшение высоты слоя сорбента при очистке, что приводит к его экономии, увеличению скорости фильтрования и сокращению времени очистки. Недостатками данного способа являются большой расход сорбента и очистка СВ только от меди.

В качестве сорбента также используют кремнегель — отход производства фторида алюминия, модифицированный жирными кислотами. Недостатком данного способа является использование реагентов для модификации сорбента, что повышает его стоимость. Также значительным недостатком данного сорбента является то, что он способен очищать СВ только от ионов кадмия и не сорбирует другие тяжелые металлы.

Известен комбинированный способ очистки СВ, содержащих органические загрязнения [12]. Он включает обработку исходных СВ коагулянтном и флокулянтном до достижения ХПК не выше 2000 мг O<sub>2</sub>/л, разделение их на ил и осветленные СВ. Далее осветленные СВ обрабатывают наноструктурированным бемитом до достижения заданной степени очистки. Однако при высоком содержании в очищаемой воде загрязнений, бемит быстро исчерпывает свои абсорбционные свойства, что делает его использование экономически невыгодным.

Авторами [8] исследовано применение мембранной фильтрации для предварительно очищенных СВ. Предварительная обработка заключалась во флокуляции с помощью FeCl<sub>3</sub> и последующей адсорбции на порошкообразном активированном угле. При этом эффективность удаления растворенного органического углерода (по ХПК) составила 68...91 %.

Адсорбционные методы стали одним из альтернативных способов очистки СВ, в последние годы активно развивается поиск недорогих адсорбентов. Таким образом, можно сделать вывод, что наиболее эффективный метод очистки СВ от нефтепродуктов автопредприятий — сорбционный.

Известные природные материалы цеолиты, благодаря строго определенным размерам пор и внутренних полостей, являются хорошими сорбентами для многих органических и неорганических веществ. Высокие сорбционные, ионообменные, молекулярно-ситовые, каталитические свойства позволяют использовать их в очистке СВ.

К недостаткам цеолитов как адсорбентов относят их высокую влагоемкость и способность взаимодействовать с кислотами. Основным недостатком применения данного класса сорбентов является вторичное загрязнение почвы чужеродными материалами (размещение отработанных материалов на специальных полигонах) и высокая себестоимость.

Не менее известен вермикулит — минерал, имеющий слоистую текстуру. Недостатком его является гигроскопичность и высокая стоимость в сравнении с другими сорбентами [13].

Сравнительная характеристика наиболее популярных сорбционных материалов и предлагаемого сорбента приведена в табл. 2.

В качестве сорбционного материала предлагается использовать природный сорбционный материал — опоку Каменноярского месторождения

Черноярского района Астраханской области. Опоки обладают большим объемом сорбционного пространства, высокой удельной поверхностью (100...130 м<sup>2</sup>/г) и пористостью (43...48 %), характеризуются как высококачественное сорбционное сырье с высоким содержанием аморфного кремнезема. Этот природный сорбент, в отличие от других минералов, не размокает в воде [14—17].

Т а б л и ц а 2

*Сравнительная характеристика предлагаемого сорбента по сравнению с аналогами*

| Характеристики сорбента            | Предлагаемый сорбент (опока)                         | Полимерные сорбенты      | Цеолиты              | Торфяные сорбенты       |
|------------------------------------|--|--------------------------|----------------------|-------------------------|
| Основа сорбента                    | Алюмосиликат (опока)                                 | Акриловые полимеры       | Алюмосиликат         | Торф                    |
| Внешний вид                        | Гранулы 1...7 мм                                     | Гранулы 3...10 мм        | Гранулы 0,8...2,0 мм | Крошка                  |
| Нефтеемкость, %                    | до 90  | 60...80                  | 50...75              | до 80                   |
| Водопоглощение                     | отс.   | отс.                     | 50...100 %           | 1,64...5,21 г/г         |
| Рабочий диапазон рН                | 6...9  | 6...7,5                  | 7...8                | 7...8                   |
| Токсичность                        | нет  | нет                      | нет                  | нет                     |
| Способ утилизации                  | Строительные отрасли промышленности, дорожная одежда | Ограниченная регенерация | Захоронение          | Сжигание, захоронение   |
| Упаковка                           | россыпь, мешок                                       | мешок                    | мешок                | мешок                   |
| Страна производитель               | Россия   | Япония                   | Россия               | Канада, Франция, Россия |
| Стоимость, руб./кг (2022—2024 гг.) | 90   | 110                      | 98                   | 290                     |

*Примечание.* Распространены опоки в Среднем и Нижнем Поволжье (Самарская, Саратовская, Волгоградская, Пензенская обл.), в Центральных районах (Московская, Калужская, Брянская обл.), в Ленинградской обл. (Кингисеппское месторождение), в Донбассе, на восточном склоне Уральского хр. (от Ирбита на севере до Троицка на юге), на Кавказе (Кисатибское месторождение в Ахалцихском р-не Грузии), в Закавказье (Нурнусское месторождение в Армении), в Молдавии (по Днестру), на Камчатке, Северном Сахалине [18].

Характерными особенностями опоки являются мезо-макропористая структура с эффективным диаметром пор 20...110 нм, высокая механическая прочность, развитая пористая структура, устойчивость к воздействию кислот и щелочей, а также дешевизна и доступность, что делает экологически и экономически выгодным использование этого природного сорбента в качестве носителя микроорганизмов в процессах очистки СВ.

Опоки имеют огромные запасы и выгодное местоположение, что позволяет экономить на логистике.

Физико-химические характеристики СВ и климатические условия регионов весьма разнообразны и требуют дифференцированного подхода к выбору оптимальных вариантов систем очистки и применяемых материалов. Внедрение адсорбционных методов с применением природных сорбентов являются перспективными для очистки воды от нефтепродуктов.

При выборе сорбционного материала для очистки СВ помимо хороших поглощающих свойств необходимо руководствоваться еще стоимостью и дальностью транспортировки, выбирая оптимальное соотношение цены и качества [19—24].

Как видно из табл. 2, опоку можно рассматривать для внедрения в систему оборотного водоснабжения для очистки СВ и возврата их на повторное использование.

В качестве фильтрующего материала рассматривались сорбенты СВ-1-3, СВ-5, СВ-7 на основе природных опок Каменоярского месторождения, расположенного на севере Астраханской обл. в 80 км юго-восточнее г. Волгограда. Опока как сорбционный материал имеет ряд преимуществ: хорошая нефтеемкость (до 88 %), гидрофобность, дальность транспортировки составляет менее 80 км, оптимальные технико-экономические требования, что уменьшает стоимость очистки СВ.

Химический состав данной опоки следующий:  $\text{SiO}_2$  — 78...80 %;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 18...22 %;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  — 0,5...1 %;  $\text{CaSO}_4$  — 0,3...0,5 %;  $\text{CaCO}_3$  — 0,12...0,8 %;  $\text{H}_2\text{O}$  — 0,2...0,5 %. Образцы опок представлены на рис. 2.



Рис. 2. Опока, диаметр частиц: *a* — 1...3 мм; *б* — 5...7 мм

### Выводы

При разработке раздела проекта по охране труда и охране окружающей среды проектировщики должны учитывать все негативные воздействия строительного производства на гидросферу, атмосферу и литосферу и рекомендовать меры по минимизации такого влияния.

Состав СВ после мойки строительных машин характеризуется высокими концентрациями нефтепродуктов и взвеси (нефтепродукты до  $90 \text{ мг/дм}^3$ , взвешенные вещества  $700 \text{ мг/дм}^3$ ), что при физико-химической очистке требует применения сорбционных материалов, извлекающих нефтепродукты.

Исследуемые сорбенты СВ-1-3, СВ-5, СВ-7 эффективно очищают СВ от эмульгированных нефтепродуктов, эффективность очистки до 88 %.

СВ-1-3, СВ-5, СВ-7 могут быть рекомендованы предприятиям для очистки СВ от нефтепродуктов с исходной концентрацией до 60...70 мг/дм<sup>3</sup>.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кострюкова Е. А., Саразов А. В.* Экологические проблемы автомобильного транспорта. Современные наукоемкие технологии. Пенза : ИД «Академия Естественных наук», 2013. 210 с.
2. *Kemmer F. N.* NALCO Water Handbook. Nalco Chemical Company, McGraw-Hill, 1988.
3. *Кривошейн Д. А., Муравей Л. А., Роева Н. Н.* Экология и безопасность жизнедеятельности : учеб. пособие для вузов. М. : ЮНИТИ-ДИАНА, 2000. 447 с.
4. *Akromie K. G., Dawodu F. A.* Car treatment of wastewater from heavy metal pollution green montmorillonite // Journal of advanced research. 2015. Vol. 6. Iss. 6. Pp. 1003—1013.
5. *Дорохин С. В., Прохоров Д. Л.* Влияние автотранспорта на загрязнение городской среды // Международ. науч.-техн. конф. «Университетская наука—2015»: сб. тез. докладов. 2015. Т. 2. Мариуполь : ГВУЗ «ПГУ». С. 180—181.
6. *Семенов А. И.* Очистка сточных вод на автомойке // Успехи современного естествознания. 2011. № 7. С. 197.
7. *Матвеева К. А.* Исследование состава стока после мойки грузового автотранспорта и технологическая схема очистки в системе оборотного водоснабжения. Л. : ЛИСИ, 1984. 78 с.
8. *Перфильев А. В., Юдаков А. А., Арефьева А. Д., Ксеник Т. В.* Исследование сорбционных свойств гидрофобных органо-минеральных адсорбентов в различных условиях эксплуатации. Владивосток, 2012 г. 198 с.
9. *Crist Ray H., Martin J. R.* Use of a novel formulation of kraft lignin for toxic metal removal from process waters // Separ. Sci. and Technol. 2004. Vol. 39. Iss. 7. Pp. 1535—1545.
10. *Молодов П. В., Дмитриев В. Д., Кичигин В. И.* Исследование состава загрязнений снежного покрова на предприятиях Средневолжского транспортного управления // Исследования в области водоснабжения : межвуз. тем. сб. тр. Л. : ЛИСИ, 1983. С. 93—96.
11. *Zhang F., Shaoming F.* Gongyeshui chuli Ind // Water Treat. 2003. Vol. 6. Pp. 25—27.
12. *Черноиванов В. И., Федотов А. В., Пронская Т. В.* Комбинированный способ очистки сточных вод, содержащих органические загрязнения : патент 2480423, Российская Федерация : МПК C02 F 9/04 (2006.01), C02 F 9/08 (2006.01), C02 F 1/28 (2006.01), C02 F 1/52 (2006.01), C02 F 1/02 (2006.01). № 2011137829/05. 2013. Бюл. № 12. 11 с.
13. *Johir M. A. H., Vigneswaran S., Kandasamy J., Sleigh R.* Coupling of physico-chemical treatment and steel membrane filtration to enhanced organic removal in wastewater treatment // Desalination and Water Treatment. 2013. Vol. 51. Iss. 13-15. Pp. 2695 — 2701.
14. *Радченко О. П., Клочков Д. П., Матвеев Р. А., Куранов Д. В.* Повышение эффективности проведения операционного контроля путем использования современного устройства контроля проектного положения стропильных конструкций // Инженерный вестник Дона. 2018. № 2. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/N2y2018/4909](http://ivdon.ru/magazine/archive/N2y2018/4909).
15. *Радченко О. П., Москвичева Е. В., Клочков Д. П.* Актуальные проблемы экологии при эксплуатации автотранспорта // Ресурсо-энергосберегающие технологии в строительном комплексе региона : сб. науч. тр. Т. 2. Саратов : СГТУ им. Ю. А. Гагарина, 2018. С. 295—296.
16. *Радченко О. П.* Очистка сточных вод на автотранспортных предприятиях // Научная перспектива. 2011. № 10. С. 91—92.
17. *Яковлев С. В., Воронов Ю. В.* Водоотведение и очистка сточных вод: учебник для вузов. М. : АСВ, 2004. 253 с.
18. *Мусаелян С. М., Потоловский Р. В., Сахарова Н. А., Радченко О. П.* Математическое моделирование процессов очистки сточных вод и обработки осадков на городских очистных сооружениях канализации // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Серия: Политематическая. 2012. Вып. 1(20). 140 с.
19. *Мовчан В. Н., Зубкова П. С., Питулько В. М.* Формирование критериальной базы экологической оценки состояния урбанизированных территорий // Вестник Санкт-Петербургского университета. 2017. № 3. С. 266—279.
20. *Елисеева Т. П., Ежова И. М., Лакирбая И. Д.* Исследование воздействия техногенных факторов на окружающую среду с целью обоснования управленческих решений по обеспечению

экологической безопасности регионов России // Инженерный вестник Дона. 2014. № 2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2361](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2361).

21. Mikula R. J., Munoz V. A. Characterization of Demulsifiers in Surfactants, Fundamentals and Applications in the Petroleum Industry. Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2000. Pp. 51—78.

22. Маколова Л. В. Проблема снижения негативного воздействия транспортной сферы на окружающую среду на основе функционирования механизма избавления от отработанных масел // Инженерный вестник Дона. 2013. № 3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1763](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1763).

23. Daley J. A Geological “Orrery” Could Reveal Planetary Dynamics in Deep Time // Scientific American. 2019. Vol. 9. Pp. 78—85.

24. Farajzadeh M. A., Monji A. B. Adsorption characteristics of wheat bran towards heavy metal cations // Separ. and Purif. Technol. 2004. Vol. 38. Iss. 2. Pp. 197—207.

© Теплых С. Ю., Радченко О. П., Клочков Д. П., Весова Л. М., Ляшенко А. А., 2025

Поступила в редакцию  
20.03.2025

Ссылка для цитирования:

Очистка сточных вод после мойки автотранспорта на строительных площадках / С. Ю. Теплых, О. П. Радченко, Д. П. Клочков, Л. М. Весова, А. А. Ляшенко // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2025. Вып. 2(99). С. 153—161. DOI: [10.35211/18154360\\_2025\\_2\\_153](https://doi.org/10.35211/18154360_2025_2_153).

Об авторах:

**Теплых Светлана Юрьевна** — д-р техн. наук, доц. каф. водоснабжения и водоотведения, Самарский государственный технический университет. Российская Федерация, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244; [lanas2802@mail.ru](mailto:lanas2802@mail.ru)

**Радченко Ольга Петровна** — ассистент каф. технологий строительного производства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

**Клочков Дмитрий Петрович** — канд. техн. наук, доц. каф. технологий строительного производства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; [look\\_back\\_in@mail.ru](mailto:look_back_in@mail.ru)

**Весова Людмила Михайловна** — канд. техн. наук, доц. каф. технологий строительного производства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; [kafedra\\_tsp@mail.ru](mailto:kafedra_tsp@mail.ru)

**Ляшенко Александр Александрович** — ассистент каф. технологий строительного производства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; [lyashenko2626@mail.ru](mailto:lyashenko2626@mail.ru)

**Svetlana Yu. Teplykh<sup>a</sup>, Olga P. Radchenko<sup>b</sup>, Dmitry P. Klochkov<sup>b</sup>,  
Lyudmila M. Vesova<sup>b</sup>, Alexander A. Lyashenko<sup>b</sup>**

<sup>a</sup> Samara State Technical University

<sup>b</sup> Volgograd State Technical University

## WASTEWATER TREATMENT AFTER WASHING VEHICLES ON CONSTRUCTION SITES

The paper considers the sources of environmental pollution on construction sites. The types of environmental pollution during some types of construction work are described. Measures to increase the environmental friendliness of these works through the use of recycled water supply at installations after washing vehicles are considered. The main types of sorption materials for their use in wastewater treatment technologies are considered.

**Key words:** construction industry, construction waste, wastewater, treatment technology, motor vehicles, sorbent, environment, ecology, car wash, pollutant.

*For citation:*

Teplykh S. Yu., Radchenko O. P., Klochkov D. P., Vesova L. M., Lyashenko A. A. [Wastewater treatment after washing vehicles on construction sites]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2025, iss. 2, pp. 153—161. DOI: 10.35211/18154360\_2025\_2\_153.

*About authors:*

**Svetlana Yu. Teplykh** — Doctor of Engineering Sciences, Samara State Technical University. 244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation; lana2802@mail.ru

**Olga P. Radchenko** — Assistant, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

**Dmitry P. Klochkov** — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; look\_back\_in@mail.ru

**Lyudmila M. Vesova** — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; kafedra\_tsp@mail.ru

**Alexander A. Lyashenko** — Assistant, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; lyashenko2626@mail.ru