

УДК 628.312:54

**Н. Г. Вурдова^а, Г. Б. Абуова^б, Л. В. Боронина^в, С. С. Захаров^г, О. П. Радченко^г,
М. А. Фролов^г**

^а АО «ГМС Нефтемаш»

^б Астраханский государственный архитектурно-строительный университет

^в Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет

^г Волгоградский государственный технический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕТЕРОПОВЕРХНОСТНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ СОРБЕНТОВ НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ

Рассмотрены проблемы качества очистки сточных вод и экологические вопросы на очистных сооружениях. Разработана технология использования модифицированных нефтеотходов и алюмоотходов для обработки сточных вод с целью уменьшения негативного воздействия на окружающую среду. Получены сложные высокопористые сорбенты на основе нефтяных отходов, проявляющие высокую адсорбционную активность по отношению к тяжелым металлам. Предложенные сорбенты являются материалами многократного использования, экологически чистыми и обладают высокой селективностью к определенным ионам тяжелых металлов, особенно свинца. Их применение может способствовать разработке эффективных методов обработки сточных вод и решению экологических проблем, связанных с качеством воды.

К л ю ч е в ы е с л о в а: модифицированные нефтеотходы, обработка сточных вод, высокопористые сорбенты, адсорбционная активность, экологические проблемы, очистка воды.

Введение

С увеличением требований к качеству воды возрастает необходимость разработки и внедрения более эффективных технологий для очистки сточных вод и утилизации отходов, более эффективных, экономичных и экологически безопасных. Существующие системы очистки воды, часто характеризующиеся большими размерами и проблемами с испарением, требуют дорогостоящего и сложного обслуживания [1—3]. Особые трудности возникают при очистке сточных вод, содержащих тяжелые металлы и органические соединения, особенно когда речь идет о сточных водах предприятий, занимающихся переработкой и транспортировкой нефти и нефтепродуктов.

Данное исследование сосредоточено на изучении и разработке методов очистки сточных вод с применением наноматериалов, а также на анализе эффективности использования промышленных отходов в качестве вторичного сырья. С целью обеспечения устойчивого развития промышленных процессов и уменьшения негативного воздействия на окружающую среду крайне важно проводить переработку и утилизацию промышленных отходов с максимальной эффективностью [2—5]. Авторами осуществлен детальный анализ потенциального использования промышленных отходов для создания наноматериалов, которые, в свою очередь, можно применить в процессе очистки сточных вод с целью более эффективного удаления загрязнителей. Кроме того, изучены возможности использования промышленных отходов в качестве ценного вторичного сырья для производства новых материалов и продуктов, что способствует снижению потребления природных ресурсов и сокращению объемов отходов, направляемых на свалки. Ожидается, что полученные

результаты помогут разработать более устойчивые и экологически безопасные технологии очистки сточных вод и эффективной утилизации промышленных отходов, что поспособствует улучшению экологической обстановки [6—7] и устойчивости промышленных процессов.

Основная часть

В рамках данного исследования разработан и внедрен технологический процесс, основанный на использовании сорбентов, изготовленных из отходов производства алюминия и переработки нефти, с целью улучшения очистки сточных вод и повышения качества питьевой воды. Исследование и практическое применение алюмосиликатных материалов для очистки от загрязнений, вызванных аварийными выбросами нефти и нефтепродуктов в процессе добычи и транспортировки, в сочетании с утилизацией отходов производства алюминия и переработки нефти в качестве сорбентов в фильтрах и для флотационной очистки сточных вод, представляет собой значительно актуальную задачу с практической значимостью [8—10].

Цель работы заключается в проведении технологических лабораторных исследований, направленных на изучение сорбционных свойств алюмосиликатных материалов на основе отходов переработки нефти и алюминиевого производства для их последующего использования в промышленности [11—12].

Анализ химического состава и физико-химических свойств этих материалов, поиск оптимальных производственных режимов и методов их применения в различных отраслях, а также разработка новых классов веществ с сорбентными свойствами составляют основные задачи исследования.

Также рассматривается вопрос получения гидрофобизированных сорбентов с использованием модификации для придания им водоотталкивающих свойств. Известно, что структура твердых материалов играет ключевую роль в определении их химических и физических свойств. Один из методов создания материалов заключается в сборке кристаллических структур с заданными свойствами из отдельных атомов с использованием физических методов. Другой — создание специальных условий, при которых отдельные атомы самоорганизуются в новые структуры.

В данной статье рассмотрены композиционные гетероповерхностные сорбенты, полученные в лаборатории. Эти материалы представляют собой пористые частицы с модифицированным химическим составом во внешнем слое, отличающимся от состава внутреннего слоя, расположенного в порах сорбента. Композиционные гетероповерхностные сорбенты на наноуровне призваны решить проблему очистки водных сред, содержащих тонкие водно-органические эмульсии. Данный тип загрязнения нельзя удалить с помощью существующих методов, разработка эффективных сорбентов на композитной основе оказывается крайне актуальной. Полученные результаты и разработанные методы синтеза представляют собой важный шаг в области создания эффективных и экологически безопасных материалов для очистки водных систем [13—16]. Проведенное исследование показало перспективность использования композиционных гетероповерхностных сорбентов в процессах очистки и улучшения качества воды в промышленных и экологически чувствительных областях. Недостаток существующих сорбентов — необратимая адсорбция нерастворенных органических веществ на всей поверхности, что

блокирует возможность дальнейшего взаимодействия. Для преодоления этой проблемы разработаны различные сорбенты, однако производство их является затратным и трудоемким.

В рассматриваемой работе сорбирующее вещество обладает участками поверхности, имеющими как гидрофобные, так и гидрофильные свойства с различной селективной активностью. В нашей лаборатории разработана методика синтеза композиционного гетероповерхностного сорбента с применением химической «обшивки» молекулы-модификатора обратно-фазовыми частицами использованного сырья (нефтяными алюмоотходами). Примененный нанопринцип заключается в сохранении физических и химических свойств сорбирующего покрытия на модификаторе на внутренней поверхности пор, составляющей более 72...75 % общей площади поверхности сорбента, при создании плотного, на наноуровне, гидрофильного покрытия на внешней поверхности. Это препятствует необратимой сорбции водонерастворимых органических веществ и их проникновению в поры. В результате группа тонких эмульсий и ионы тяжелых металлов сорбируются вначале на внутренней поверхности сорбента из-за различных дипольных моментов молекул-загрязнителей. Методика синтеза предполагает получение сорбента с равномерным по толщине слоем иммобилизованных пор на внешней поверхности модификатора в глобулярной форме. Глобулы не проникают в поры исходного сорбента и создают слой, который препятствует проникновению последующих макромолекул. Полученные сорбенты при элементном анализе имеют плотность модификатора, выраженную условным числом мономолекулярных слоев n . Сравнение данных элементного анализа показывает почти линейную зависимость между модельным числом слоев и концентрацией модификатора. Сорбционные характеристики не зависят от pH среды. Результаты элементного анализа тесно коррелируют с данными измерения электрофоретической подвижности λ полученных сорбентов в зависимости от pH. Существуют методы получения угольно-минеральных смешанных сорбентов для очистки различных веществ, включая нанесение кокса на инертный носитель. Один из таких методов заключается в создании адсорбента для очистки воды путем нанесения углеродсодержащего компонента на окись алюминия, перлит или другой неорганический носитель, а затем термической обработки при высоких температурах. Наш сорбент получен путем термообработки в токе инертного газа предварительно обработанной хлорной медью палыгорскит-монтмориллонитовой глины. Отработанная палыгорскит-монтмориллонитовая глина представляет собой минеральную матрицу, покрытую слоем поликонденсированных полимеризованных органических соединений. Наш сорбент проявляет адсорбционную способность к хлорпроизводным органическим веществам, к катионактивным и неионогенным поверхностно-активным веществам (ПАВ). Для улучшения экономической эффективности в процессе очистки сточных вод, в противоположность использованию эффективных, но дорогостоящих материалов как сорбционных средств, предлагается исследовать возможность использования нефтяного отхода в качестве основы для сорбционного материала.

В современном мире проблема утилизации отходов представляет особую важность, особенно в области нефтепереработки. Одним из таких отходов,

образующихся в результате нефтепереработки, является отход процесса фильтрации масел. Наша задача состояла в анализе потенциальных способов использования таких отходов в качестве сорбирующих материалов для очистки сточных вод от нефтяных и масляных загрязнений.

Рассматриваемый отход представляет собой мелкодисперсный порошок серого цвета с указанным фракционным составом, включающим частицы менее 0,1 мм — 64 %; 0,1...0,25 мм — 21 %; 0,25...0,5 мм — 13 %; более 0,5 мм — 2 %. Удельная поверхность отхода превышает 1000 м²/кг. Для анализа фракционного состава использовались механические лабораторные сита.

Изучалась потенциальная возможность использования данного отхода при очистке промышленных сточных вод с учетом его химического состава и удельной поверхности. Минеральная часть отхода нефтепереработки представлена преимущественно оксидами (табл. 1) — оксиды кремния составляют до 72,8 % масс., а оксиды алюминия — 14,7 % масс. Это предполагает возможность использования данного отхода в качестве алюмосиликатной основы для создания сорбционных материалов, способных обеспечивать эффективную очистку сточных вод от нефтяных и масляных загрязнений.

Результаты анализа фракционного и химического составов отхода позволяют рассматривать его в качестве потенциального сорбирующего материала для очистки промышленных сточных вод, что открывает перспективы его эффективного использования и утилизации в промышленности. Планируется проведение дополнительных исследований с целью оптимизации процесса и повышения эффективности использования рассматриваемого отхода. Стоит отметить, что данный материал может быть перспективным ввиду его экономической целесообразности, эко-дружественности и потенциала сорбции.

Таблица 1

Массовое содержание оксидов в минеральной части отхода, %

Массовое содержание оксидов в минеральной части отхода, %								
SiO ₂	Al ₂ O ₃	ZnO	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Прочее
72,81	14,69	0,91	1,32	0,14	0,96	2,83	3,03	3,31

Исследование и разработка методов отделения органической части от нефтеотходов является актуальной задачей в области экологии и технологии. Одним из эффективных методов отделения органической части является экстракция бензолом с последующей сушкой бензольного раствора.

Нефтеотходы — это продукты переработки нефти и нефтепродуктов, которые могут содержать органические соединения, в т. ч. тяжелые углеводороды, ароматические соединения и другие элементы. Доля органической части в нефтеотходах может составлять от 10 до 15 % общей массы.

Для более детального изучения состава органической части нефтеотходов проведен их анализ. В таблице 2 представлены данные о содержании различных соединений, включая углеводороды, ароматические соединения и другие.

Т а б л и ц а 2

Групповой состав органической части отхода нефтепереработки, %

Группа углеводородов	Содержание органической части отхода, % масс
Парафиновые	4,6
Нафтеновые	8,5
Непредельные	3,0
Ароматические	15,7
Смолы	40,3
Асфальтены	9,2
Кислородсодержащие соединения	18,7

Изучение состава органической части нефтеотходов позволяет выявить потенциальные способы их переработки и возможности использования в промышленности. Упомянутый метод экстракции бензолом дает возможность для проведения дальнейших исследований в этой области. Разработка эффективных методов переработки органической части нефтеотходов способствует снижению вредного воздействия на окружающую среду и повышению эффективности использования ресурсов нефти и нефтепродуктов.

В результате анализа органической части отходов, полученных в процессах нефтепереработки, установлено, что примерно 40 % их составляют обедненные водородом смолообразные продукты [17], в значительном количестве представлены высококонденсированные ароматические углеводороды, которые тесно связаны с графитом, образуя фактически коксовую структуру, отложившуюся на алюмосиликатной поверхности данного отхода. В итоге получается комплексный материал, состоящий из угольных и минеральных компонентов с алюмосиликатной матрицей в качестве минеральной части, образующий сложную и устойчивую структуру.

Таким образом, изучение данного типа отходов не только позволит более глубоко понять их свойства, но и создаст базу для разработки улучшенных методов и технологий их использования, повысит эффективности процессов утилизации и переработки промышленных отходов. Полученные результаты указывают на то, что данный материал обладает высоким содержанием пор, достигающим 50 % объема частиц, что приводит к их плавучести в воде. В то же время размер фракций не превышает 0,1...0,5 мм. Насыпная плотность отхода составляет примерно 400...500 кг/м³ при значительной удельной поверхности. Кроме того, данный вид отходов обнаруживает особую способность к поглощению нефтяных продуктов, что подтверждается результатами исследования его нефтеемкости. В целом, результаты лабораторных испытаний говорят об потенциале использования таких нефтяных отходов для очистки сточных вод [18—19], содержащих нефтепродукты, после соответствующей дополнительной обработки, например, с применением наномодификации. Таким образом, выявленные свойства этого материала предполагают перспективы его использования в системах очистки для эффективной обработки нефтесодержащих стоков и снижению негативного воздействия на окружающую среду.

Результаты проведенных экспериментов подтверждают целесообразность температурной обработки отходов в течение 3...4 ч. После такой тер-

мической обработки или выдерживания при комнатной температуре отмечается ряд изменений, в т. ч. снижение насыпной плотности отходов, увеличение пористости, снижение набухаемости в воде и увеличение доли частиц, всплывающих в воде.

Дополнительная обработка отходов при температуре 500...600 °С показала, что насыпная плотность снижается до уровня 90...160 кг/м³ в результате удаления молекулярно связанной воды, гидроксильных групп и выгорания углеводородов, входящих в состав алюмосиликатных отходов. Эти изменения приводят к формированию материала с низкой насыпной плотностью и повышенной активностью углеродной поверхности, что обуславливает увеличение сорбционной способности.

Выводы

На основании проведенного исследования можно сделать вывод о значимости изучения свойств отходов нефтепереработки и их изменений под действием различных технологических факторов для создания и внедрения инновационных, эффективных и экологически безопасных методов утилизации этого типа отходов.

Данное исследование охватывает комплексные проблемы, связанные с качеством очистки природных и сточных вод, ресурсосбережением и экологическими вопросами, связанными с функционированием очистных сооружений. Предложены перспективные пути решения этих проблем, включая снижение затрат на процесс очистки сточных вод путем уменьшения размера очистных сооружений при использовании модифицированных нефтеотходов в качестве средств очистки сточных вод [20]. Это позволяет уменьшить негативное воздействие комплекса очистных сооружений на окружающую среду и является важным шагом в направлении улучшения экологии с точки зрения обращения с отходами и охраны окружающей среды.

В результате внедрения предложенной технологии разработаны сложные высокопористые сорбенты на основе двух видов отходов, полученных в процессе производства алюминия. Эти сорбенты обладают значительной адсорбционной активностью по отношению к ионам тяжелых металлов, таких как медь, кадмий и свинец.

Важно отметить, что данные сорбенты являются материалами многократного использования, они отличаются низкой себестоимостью, экологической привлекательностью и проявляют высокую селективность к ионам свинца.

Эти результаты представляют значительный научный и практический интерес в контексте разработки новых материалов для очистки воды и решения проблем загрязнения окружающей среды и ресурсосбережения. Исследование позволяет перспективно использовать модифицированные отходы в процессах устойчивого развития и содействует уменьшению негативного воздействия на окружающую среду.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Marwa El-A., Mohamed F. S., Rehab K. M.* Cost estimation of synthesis and utilization of nano-adsorbents on the laboratory and industrial scales: A detailed review // *Science of The Total Environment*. 2023. Vol. 875. Pp. 1626—29.
2. *Matheus A. S., Charles W. I. H., Giselle M. M.* Residual diatomaceous earth as a potential and cost effective biosorbent of the azo textile dye Reactive Blue 160 // *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2020. Vol. 8. Iss. 1. DOI: 10.1016/j.jece.2019.103617.

3. *Sheng-Jie Y. T., Ahmad H.-B., Huan-Ping C.* Mistakes and inconsistencies regarding adsorption of contaminants from aqueous solutions: A critical review // *Water Research*. 2017. Vol. 120. Pp. 88—116.
4. *Бирман Ю. А., Вурдова Н. Г.* Инженерная защита окружающей среды. Очистка вод. Утилизация отходов М. : АСВ, 2002. 295 с.
5. *Вурдова Н. Г., Юрьев Ю. Ю.* Инвестиционный проект создания замкнутых водооборотных циклов на промышленном предприятии // *Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость*. 2022. Т. 12. № 4. С. 529—538.
6. *Silva Rodríguez de San Miguel J. A.* Water Supply and Wastewater Treatment and Reuse in Future Cities: A Systematic Literature Review // *Water*. 2023. Vol. 15. Iss. 17. 3064. DOI: 10.3390/w15173064.
7. *Tchobanoglous G., Burton F., Stensel H. D.* Wastewater engineering: Treatment and reuse // *Journal American Water Works Association*. 2003. Vol. 95. P. 201.
8. *Карелин Я. А., Попова И. А., Евсеева Л. А., Евсеева О. Я.* Очистка сточных вод нефтеперерабатывающих заводов. М. : Стройиздат, 1982. 332 с.
9. Dissolved effluent organic matter: Characteristics and potential implications in wastewater treatment and reuse applications / I. Michael-Kordatou, C. Michael, X. Duan, X. He, D. D. Dionysiou, M. A. Mills, D. Fatta-Kassinos // *Water Resist*. 2015. Vol. 77. Pp. 213—248.
10. *Москвичева Е. В., Быков А. А., Алексиков А. Е., Геращенко А. А.* Повышение эффективности работы сооружений очистки нефтесодержащих сточных вод // *Интернет-Вестник ВолГАСУ*. 2007. № 2. URL: http://vestnik.vgasu.ru/attachments/2-3-11_0507.pdf.
11. *Харламова Т. А., Колесников А. В., Алафердов А. Ф.* Перспективные электрохимические процессы в технологиях обезвреживания сточных вод. II. Электрохимическая деструкция органических веществ; использование электролиза в технологии очистки воды // *Гальванотехника и обработка поверхности*. 2013. № 3. С. 55—62.
12. *Сарбаева М. Т., Москвичева Е. В., Стрелетов И. В., Москвичев С. С.* Получение сорбентов из алюмосиликатных отходов нефтеперерабатывающего завода // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2008. Вып. 12(31). С. 101—104.
13. *Назаров В. Д., Аксенов В. И., Назаров М. Д.* Водное хозяйство промышленных предприятий: справочное издание. Книга 5. М. : Теплотехник, 2008. 439 с.
14. Освоение наилучших доступных технологий водоочистки для промышленных предприятий / Н. Г. Вурдова, Ю. Ю. Юрьев, О. С. Брошко, А. Г. Тимофеев, В. В. Изотов, Е. В. Москвичева, И. С. Ляшенко // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2023. Вып. 2(91). С. 130—139.
15. Optimization of an electrocoagulation — flotation system for domestic wastewater treatment and reuse / G. H. Bracher, E. Carissimi, D. B. Wolff, C. Graepin, A. P. Hubner // *Environmental Technology*. 2021. Vol. 42. Pp. 2669—2679.
16. *Кузубова Л. И., Морозов С. В.* Очистка нефтесодержащих сточных вод. Новосибирск, 1992. 72 с.
17. Комплексная система очистки сточных вод текстильного предприятия / А. А. Геращенко, О. С. Власова, Д. О. Игнаткина, Ю. Ю. Юрьев, Р. В. Потоловский // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2021. Вып. 2(83). С. 72—83.
18. *Salgot M., Folch M.* Wastewater treatment, and water reuse // *Water Consumption, Tariffs and Regulation*. 2018. Vol. 2. Pp. 64—74.
19. *Тарасевич Ю. И.* Природные сорбенты в процессах очистки воды. Киев : Наукова думка, 1981. 207 с.
20. Технологический подход к организации малосточных систем на нефтеперерабатывающих предприятиях / Н. Г. Вурдова, О. С. Брошко, Ю. Ю. Юрьев, В. В. Изотов, А. Г. Тимофеев, Е. В. Москвичева, Е. А. Бастрыкин // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2023. Вып. 2(91). С. 140—148.

© Вурдова Н. Г., Абуова Г. Б., Боронина Л. В., Захаров С. С., Радченко О. П., Фролов М. А., 2024

Поступила в редакцию
в марте 2024 г.

Ссылка для цитирования:

Исследование характеристик гетероповерхностных композиционных сорбентов на основе вторичного сырья / Н. Г. Вурдова, Г. Б. Абуова, Л. В. Боронина, С. С. Захаров, О. П. Радченко, М. А. Фролов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 2(95). С. 133—141. DOI: 10.35211/18154360_2024_2_133.

Об авторах:

Вурдова Надежда Георгиевна — канд. техн. наук, доц., начальник Управления проектирования объектов водоподготовки и водоочистки, АО «ГМС Нефтемаш», филиал в г. Москве. Российская Федерация, 105203, г. Москва, ул. Первомайская, 126; nadya_vurdova@mail.ru

Абуова Галина Бекмуратовна — канд. техн. наук, доц., декан фак-та инженерных систем и пожарной безопасности, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Российская Федерация, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 18

Боронина Людмила Владимировна — канд. техн. наук, доц. каф. теплоснабжения и вентиляции, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (МГСУ). Российская Федерация, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26

Захаров Сергей Сергеевич — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

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

Фролов Марк Александрович — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

**Nadezhda G. Vurdova^a, Galina B. Abuova^b, Lyudmila V. Boronina^c,
Sergey S. Zakharov^d, Olga P. Radchenko^d, Mark A. Frolov^d**

^a JSC “HMS Neftemash”

^b Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering

^c Moscow State University of Civil Engineering

^d Volgograd State Technical University

STUDY OF CHARACTERISTICS OF HETEROSURFACE COMPOSITE SORBENTS ON THE BASIS OF SECONDARY RAW MATERIALS

In this study the problems of wastewater treatment quality and ecological issues at wastewater treatment plants are considered. The technology of using modified oil and allium wastes for wastewater treatment to reduce the negative impact on the environment has been developed. Complex highly porous sorbents on the basis of oil wastes, showing high adsorption activity towards heavy metals, were obtained. The proposed sorbents are reusable materials, environmentally friendly and highly selective to certain heavy metal ions, especially lead. This discovery may contribute to the development of efficient wastewater treatment methods and to the solution of environmental problems related to water quality.

Key words: modified petroleum wastes, wastewater treatment, highly porous sorbents, adsorption activity, environmental problems, water treatment.

For citation:

Vurdova N. G., Abuova G. B., Boronina L. V., Zakharov S. S., Radchenko O. P., Frolov M. A. [Study of characteristics of heterosurface composite sorbents on the basis of secondary raw materials]. *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], 2024, iss. 2, pp. 133—141. DOI: 10.35211/18154360_2024_2_133.

About authors:

Nadezhda G. Vurdova — Candidate of Engineering Sciences, Docent, JSC "HMS Neftemash". 126, Pervomayskaya st., 105203, Moscow, Russian Federation; nadya_vurdova@mail.ru

Galina B. Abuova — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering. 18, Tatishcheva st., 414056, Astrakhan, Russian Federation

Lyudmila V. Boronina — Candidate of Engineering Sciences, Moscow State University of Civil Engineering (MGSU). 26, Yaroslavskoe highway, Moscow, 129337, Russian Federation

Sergey S. Zakharov — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

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

Mark A. Frolov — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation