

ПРОИЗВОДСТВО СОРБЕНТОВ НА ОСНОВЕ НЕФТЕ- И АЛЮМООТХОДОВ

Ю. Ю. Юрьев, Н. В. Дудникова, Е. Р. Чайка, Д. П. Яковлев, А. В. Москвичев

Юрьев Юрий Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Водоснабжение и водоотведение», Институт архитектуры и строительства Волгоградского государственного технического университета, г. Волгоград, Российская Федерация, тел.: + 7 (903) 370-91-39; e-mail: yuriy-yuriev@yandex.ru;

Дудникова Наталия Владимировна, магистрант, Институт архитектуры и строительства Волгоградского государственного технического университета, г. Волгоград, Российская Федерация, тел.: + 7 (905) 483-13-25;

Чайка Екатерина Романовна, магистрант, Институт архитектуры и строительства Волгоградского государственного технического университета, г. Волгоград, Российская Федерация, тел.: + 7 (927) 535-01-25;

Яковлев Даниил Павлович, магистрант, Институт архитектуры и строительства Волгоградского государственного технического университета, г. Волгоград, Российская Федерация, тел.: + 7 (904) 775-79-14;

Москвичев Александр Викторович, ученик, Лицей № 5, г. Волгоград, Российская Федерация

Повышение требований к качеству воды диктует поиск эффективных технологий водоподготовки и водоотведения. В статье рассмотрен способ получения сорбента, который может использоваться для повышения качества очистки питьевой воды и сточных вод. Сорбент, полученный из отходов производства алюминия и переработки нефти, обладает высокой адсорбционной способностью к хлорпроизводным органическим веществам, катионактивным и неоногенным ПАВам. Полученный материал обеспечивает высокую степень очистки и может быть применен при очистке воды от нефти и нефтепродуктов. Такие сорбенты относятся к материалам многократного использования. Они дешевле и экологичнее. Экологический эффект заключается в полной или частичной ликвидации алюминиевых шламов, что позволяет снизить их негативное влияние на окружающую среду.

Ключевые слова: сорбент, отходы производств, очистка, сточные воды, модификация отходов.

PRODUCTION OF SORBENTS BASED ON OIL AND ALUMINUM WASTE

Yu. Yu. Yuryev, N. V. Dudnikova, Ye. R. Chayka, D. P. Yakovlev, A. V. Moskvichev

Yuryev Yuriy Yuryevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department "Water Supply and Sanitation", Institute of Architecture and Construction of Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation, phone: + 7 (903) 370-91-39; e-mail: yuriy-yuriev@yandex.ru;

Dudnikova Natalya Vladimirovna, graduate student, Institute of Architecture and Construction of Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation, phone: + 7 (905) 483-13-25;

Chayka Yekaterina Romanovna, graduate student, Institute of Architecture and Construction of Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation, phone: + 7 (927) 535-01-25;

Yakovlev Daniil Pavlovich, graduate student, Institute of Architecture and Construction of Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation, phone: + 7 (904) 775-79-14;

Moskvichev Aleksandr Viktorovich, student, Lyceum no. 5, Volgograd, Russian Federation

Increasing requirements for water quality dictates the search for effective water treatment and sanitation technologies. The article considers a method for obtaining a sorbent that can be used to improve the quality of drinking water purification and wastewater treatment. The sorbent obtained from waste products of aluminum production and oil refining has a high adsorption capacity to chlorine-derived organic substances, to cationic and neogenenic surfactants. The resulting material provides a high degree of purification and can be used to purify water from oil and petroleum products. Such sorbents are reusable materials, cheaper to use and environmentally friendly. The ecological effect consists in the complete or partial elimination of aluminum sludge, which reduces their negative impact on the environment.

Keywords: sorbent, industrial waste, purification, wastewater, waste modification.

Разработана нанотехнология получения сорбентов для очистки и обеззараживания воды, сущность которой заключается в химической модификации отходов переработки нефти и производства алюминия. Модификация достигается созданием полимерного гетерослоя на поверхности и в межслоевом пространстве минеральной матрицы в соответствующих условиях.

Предлагаемый продукт – нанокompозиты на основе используемых отходов. Они не дороги и обладают:

- высокой сорбционной емкостью;
- управляемой селективностью;
- большим ресурсом работы;
- устойчивостью к микробиологическому разрушению.

О нанотехнологиях, как новом направлении в науке, последнее время мы часто читаем и слышим в средствах массовой информации.

О том, что практически все твердые материалы имеют упорядоченную структуру, знают многие. Хорошо также известно, что от взаимного расположения атомов одного и того же химического элемента в кристаллической решетке зависят химические и физические свойства вещества.

Например, одни и те же атомы углерода в одной структуре образуют графит, а в другой – алмаз. Всего из трех атомов: углерода, кислорода и водорода – с небольшими добавками строятся органические вещества, бактерии и вирусы, да и мы сами.

Однако оказывается, что физические и химические свойства вещества могут сильно меняться в зависимости еще от одного фактора – количества



атомов в решетке при условии, если данное количество атомов формирует частицу менее 100 нм.

Более того, кристаллические частицы вещества размерностью менее 100 нм могут проявлять свойства, вообще не присущие данному веществу в привычном мире. Золото и серебро обычно считаются инертными металлами, которые неактивны в большинстве химических реакций. Однако, когда эти металлы представлены в форме наночастиц, их свойства изменяются и они могут стать отличными катализаторами химических реакций.

Таким образом, нанотехнологии – это совокупность методов производства наноразмерных структур, выявление их физических, химических, механических и других свойств с целью применения на практике для оптимизации производственных процессов, а также создания на их основе материалов, в том числе с эволюционно новыми свойствами.

Одним из способов производства наноматериалов является сборка под контролем физических методов кристаллических структур с заданными свойствами из отдельных атомов. Это технологии, которые позволяют под контролем, в том числе и визуальном, перемещать отдельные атомы.

Другим способом производства наноматериалов является создание специальных условий, при которых из отдельных атомов вещества происходят процессы самоорганизованной сборки конкретных структур с заданными размерами. Это композиционные гетероповерхностные сорбенты (далее – КГС), полученные в нашей лаборатории. Изобретения запатентованы.

Синтез наносорбентов на основе нефти и алюмоотходов

Композиционные сорбенты – это такие пористые частицы, в которых модифицирующий слой на внешней (видимой) поверхности по химической природе отличается от модифицирующего на внутренней (невидимой), то есть на поверхности в порах сорбента. Возможны различные способы получения композиционных гетероповерхностных сорбентов [1, 2].

Путем взаимодействия модификатора с частицами исследуемых отходов разработан метод синтеза, позволяющий модифицирующий слой использовать как структурирующий.

Внешняя поверхность модификатора защищена плотным экраном частиц: основного компонента, сорбирующего вещества – между которыми есть поры, позволяющие свободно проникать и удерживаться частицам загрязнителя.

Разработкой композиционных гетероповерхностных сорбентов на наноуровне обусловлены тем, что в очищаемых водных средах, как правило, кроме водо- и нерастворимых органических веществ, присутствуют тонкие водоорганические эмульсии, которые не извлекаются известными методами. На известных сорбентах нерастворенные органические вещества необратимо сорбируются по всей поверхности и тем самым блокируют дальнейшее взаимодействие [3, 4].

Для преодоления таких трудностей разработаны разнообразные сорбенты, но это весьма затратно, трудоемко. В данном случае сорбирующее вещество имеет участки поверхности гидрофобные и гидрофильные с различной селективной активностью.

В нашей лаборатории разработана более простая методика синтеза композиционного гетероповерхностного сорбента с применением химической «обшивки» молекул модификатора обращенно-фазовыми частицами использованного сырья (нефте-алюмоотходами).

Применяемый в работе принцип создания композиционного, гетероповерхностного сорбента заключается в максимальном сохранении неизменной природы сорбирующего покрытия на модификатор на внутренней поверхности пор, составляющей более 72–75 % общей площади поверхности сорбента, в то время, как на внешней создается плотное, на наноуровне, гидрофильное покрытие, препятствующее необратимой сорбции водонерастворимых органических веществ и проникновению их в поры.

В результате, в силу разных величин дипольных моментов молекул-загрязнителей, раньше сорбируется группа тонких эмульсий и ионы тяжелых металлов на внутренней поверхности сорбента.

Описанные условия синтеза предусматривают получение сорбента с равномерно распределенным по толщине слоем иммобилизованных на внешней поверхности модификаторов в глобулярной форме. Это означает, что модификаторы, такие как уголь или наночастицы серебра или золота, равномерно покрывают внешнюю поверхность носителя (окись алюминия, перлит и др.) и образуют глобулярную структуру.

Такой подход позволяет эффективно использовать повышенную поверхность сорбента для взаимодействия с загрязнителями или другими веществами в процессе очистки или катализа. Равномерное распределение модификаторов помогает обеспечить максимальную активность сорбента и катализатора, что в итоге повышает эффективность процессов очистки воды или химических реакций. Глобулы (минимальный диаметр вращения эллипсоидальных глобул модификатора составляет 9–10 нм) не проникают в поры исходного сырья-сорбента и создают слой, препятствующий проникновению последующих макромолекул.

По данным элементного анализа полученные сорбенты могут быть охарактеризованы плотностью модификатора, выражаемого условным модельным числом мономолекулярных слоев «n» [5].

При сравнении данных элементного анализа следует отметить почти линейную зависимость модельного числа слоев от концентрации модификатора, применяемого в процессе. Заметной зависимости сорбционных характеристик от pH среды не обнаружено.

С данными элементного анализа хорошо согласуются и результаты электрофоретической подвижности λ полученных сорбентов от pH.

Разработаны различные подходы к производству угольно-минеральных смешанных сорбентов, которые применяются для очистки разнообразных

субстанций. Один из этих методов, основанный на добавлении кокса на инертный носитель, представляет особую эффективность в очистке воды. В данной методике происходит нанесение углеродсодержащего элемента на оксид алюминия, перлит или другой неорганический носитель, затем полученная композиция подвергается термической обработке при высоких температурах.

Этот процесс гарантирует эффективное удаление загрязнений и обеспечивает качественную очистку воды. Так получен сорбент путем термообработки в токе инертного газа предварительно обработанной в процессе очистки хлорной медью палыгорскит-монтмориллонитовой глины. Эта разновидность глины представляет собой минеральную матрицу, покрытую слоем поликонденсированных, полимеризованных осмолившихся непердельных углеводов.

Данный сорбент обладает адсорбционной способностью хлорпроизводных органических веществ к катионактивным и неионогенным поверхностно-активных веществ (далее – ПАВ).

Для удешевления этих эффективных, но весьма дорогостоящих материалов предлагается использовать в качестве получения сорбционного вещества для очистки сточных вод нефтеотход, образующийся при фильтрации масел. На Волгоградском нефтеперерабатывающем заводе образуется до 200 т

подобных отходов, которые не находят дальнейшего применения. Поэтому данные отходы стали объектом дальнейшего изучения.

Приведены результаты исследования и определены способы по применению отходов нефтепереработки в качестве сорбирующего материала при очистке сточных вод от нефте- и маслозагрязнений.

Отход представляет собой мелкодисперсный порошок серого цвета, имеющий фракционный состав (% масс.): менее 0,1 мм – 64, (0,1÷0,25) мм – 21, (0,25÷0,5) мм – 13, более 0,5 мм – 2, обладает высокой удельной поверхностью – более 1000 м²/кг. Фракционный состав данного материала определяли просеиванием через ряд механических лабораторных сит [5].

Возможность использования этого отхода для очистки промышленных сточных вод рассматривалась, прежде всего, с точки зрения его состава [6, 7].

Минеральная часть отхода нефтепереработки представлена преимущественно оксидами металлов (табл. 1). Видно, что в состав отхода включены в большом процентном содержании оксиды кремния (до 72,8 масс. %) и алюминия (14,7 масс. %), что позволяет рассматривать этот отход в качестве алюмосиликатной основы для получения сорбционного материала.

Таблица 1

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

Активность данных оксидов повышается с уменьшением размеров частиц. Они прекрасно диспергируются в маслах и растворяются в водных средах. Из-за высокой дисперсности оксидов отход, соответственно, тоже имеет большую поверхность и может служить хорошим ионитом и сорбентом.

Органическую часть отделяли путем ее экстракции бензолом и последующей сушкой бензольного раствора. Органическая часть составляет до 10–15 масс. % от общей массы нефтеотхода. Результаты анализа состава органической части представлены в таблице 2.

Таблица 2

Групповой состав органической части отхода нефтепереработки

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

Анализ органической части отхода нефтепереработки показал, что в отходе в больших

количествах присутствуют обедненные водородом смолообразные продукты (около 40 %). По химическому строению они являются высококонденсированными ароматическими углеводородами, приближающимися к графиту [8], и фактически представляют собой кокс, который отложился на алюмосиликатной поверхности отхода. Таким образом,

по составу рассматриваемый отход близок к угольно-минеральным материалам с алюмосиликатной матрицей в качестве минеральной части.

Изучение характеристик гетероповерхностных композиционных сорбентов

Определены основные физико-химические свойства исследуемого нефтеотхода (табл. 3–5).

Из полученных данных видно, что материал очень легкий, обладает большим количеством пор. До 50 % частиц не тонет в воде, размер его фракций не превышает 0,1–0,5 мм. Он имеет небольшую насыпную плотность – примерно 400–500 кг/м³ и, соответственно, огромную удельную поверхность [7, 8]. Кроме того, этот отход обладает способностью к поглощению нефтепродуктов, о чем говорит полученная величина нефтеемкости.

Таким образом, лабораторные испытания показывают, что данный нефтяной отход после дополнительной обработки (модификации) можно применять для очистки нефтесодержащих стоков [9–11, 16].

Таблица 3

Физико-механические свойства отхода нефтепереработки до и после тепловой обработки

Наименование показателя	Отход (без сушки)	Отход после высушивания при температуре 25–30 °С в течение 600 мин.	Отход после прокаливании при 100–120 °С в течение 160–200 мин.	Отход после прокаливании при 500–600 °С в течение 200 мин.
Насыпная плотность, кг/м ³	440–460	420	360	90–160
Размер частиц, мм	0–0,5	0–0,5	0–0,5	0–0,5
Массовая доля всплывающих в воде частиц, %	45–48	51–55	61–66	91–96
Массовая доля влаги, %, не более	1,0	1,0	1,0	1,0
Пористость, %	45–55	50–55	53–60	87–91
Нефтеемкость, кг/кг	0,9	1,3	1,6	5,8

Таблица 4

Физико-технические показатели фильтроперлита (ГОСТ 30566–98)

Наименование показателя	Группа		
	А	Б	В
• насыпная плотность, кг/м ³	80–120	121–160	161–180
• массовая доля всплывающих в воде частиц, %, не более	11,0	12,0	15,0
• массовая доля влаги, %, не более	0,4	1,0	1,0
• массовая доля сухого остатка водной вытяжки после выпаривания, %, не более	0,5	1,0	1,0
• фильтрационная проницаемость по воде, дарси, не менее	1,0	0,5	0,5
• массовая доля остатка на сите с размером ячеек 0,14 мм, %, не более:			
– мелкий зерновой состав	5		
– крупный зерновой состав	15		

Таблица 5

Физико-технические показатели и сорбционные характеристики отработанного фильтровального материала

Наименование показателя	Значение
• насыпная плотность (без сушки), кг/м ³	~ 500
• массовая доля всплывающих в воде частиц, %	20–60
• массовая доля влаги, %, не более	1,0
• пористость, %	30–90
• удельная поверхность, м ² /кг	До 1000
массовая доля остатка на сите с размером ячеек 0,14 мм, %, не более:	5–25
нефтеемкость, кг/кг	1–2

Проведены исследования по определению целесообразности предварительной подготовки данных отходов, поскольку рассматриваемый отход нефтепереработки представляет собой сырой, неоднородный материал (табл. 3). Важно учитывать, что процесс температурной обработки отходов играет ключевую роль. Однако после проведения данной процедуры возможно снижение насыпной плотности отходов, увеличение их пористости, уменьшение набухаемости в воде и повышение доли всплывающих частиц. Эти изменения могут быть связаны с недостаточной просушенностью отходов к концу производственного цикла. Необходимо уделить особое внимание этому аспекту для достижения оптимальных результатов и эффективного управления отходами.

При обработке отходов при высоких температурах, например, в диапазоне 500–600 °С, происходит снижение насыпной плотности сорбента или других материалов. Это связано с тем, что при подобных температурах происходит высокотемпературное термическое разложение органических компонентов, таких как углеводороды, содержащиеся в отходах.

Снижение насыпной плотности материала может оказать влияние на его свойства и способность к использованию в дальнейших технологических процессах. Поэтому это является важным аспектом

при обработке отходов при высоких температурах. Параллельно с поиском оптимального состава велась работа по поиску модификатора для придания данному отходу дополнительных водоотталкивающих свойств, улучшения сорбционных свойств. На основании проведенного эксперимента в качестве модификатора выбран полимерный отход – пенополистирол и предложены оптимальные условия его модификации. Все это обусловлено как ориентированной структурой самого модификатора, так и наличием в его макромолекуле C₆H₅-радикала с ярко выраженной гидрофобностью, позволяющей одновременно повысить сорбционную емкость и гидрофобность получаемого материала.

Этот метод предполагает растворение пенополистирола в ацетоне или смеси ацетона с метилтретбутиловым эфиром при комнатной температуре и интенсивном перемешивании в течение 2–3 мин. до получения однородных растворов. Затем добавляется отход нефтепереработки при перемешивании в количестве около 1–2 кг на 1 литр раствора полимера [13].

Данный метод позволяет эффективно обрабатывать и использовать отходы, повышая их использование и сокращая объем, что важно для устойчивого развития и экологической чистоты производства [14, 15].

Заключение

В результате исследований был разработан способ модификации, защищенный впоследствии патентом. Он позволяет получать искомый материал (сорбент) с высокими рабочими характеристиками.

На основании полученного массива экспериментальных данных следует отметить, что с использованием отхода нефтепереработки и

модифицирующего материала – полистирола можно получить материал, обладающий различными селективными свойствами. Причем впервые было установлено, что на эффективность работы данного сорбента существенно влияет дисперсность его частиц, что было учтено и реализовано в дальнейшем при разработке технологических схем использования данного сорбента.

Список литературы

1. Яковлев С. В. Водоотведение и очистка сточных вод : учебник / С. В. Яковлев, Ю. В. Воронов. – Москва : Ассоциация строительных вузов, 2006. – 702 с.
2. Каменщиков Ф. А. Нефтяные сорбиты / Ф. А. Каменщиков, Е. М. Богомольный. – Москва – Ижевск : Регулярная и хаотическая динамика, 2005. – 268 с.
3. Буторина М. В. Инженерная экология и экологический менеджмент : учебник / М. В. Буторина, П. В. Воробьев, А. П. Дмитриев и др. – Москва : Логос, 2003. – 527 с.
4. Оценка параметров пористой структуры сорбентов сорбционным методом : лабораторный практикум. – Екатеринбург, 2007. – 14 с.
5. Бембель В. М. Модификация целлюлозы в целях использования ее в качестве средства очистки от нефти и нефтепродуктов / В. М. Бембель, Л. М. Госсен и др. // Теоретические и практические основы физико-химического регулирования свойств нефтяных дисперсных систем. – Томск : Институт химии нефти Сибирского отделения Российской академии наук, 1997. – С. 117–124.
6. Абуова Г. Б. Совершенствование технологии водоподготовки в населенных пунктах аридной зоны России : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Г. Б. Абуова. – Волгоград : Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, 2012. – 20 с.
7. Пат. 1214595 Российская Федерация, МПК C02F 1/28 C02F 101/32 C02F 103/00 E02B 15/04. Способ очистки поверхности воды от нефти / З. М. Шахмаев, Р. М. Клявин, Г. П. Бочкарев, Л. Х. Асфандияров. – № 3750547 ; заявл. 07. 06. 1984 ; опубл. 28.02.1986, Бюлл. № 8. – 3 с.
8. Алыков Н. М. Адсорбция из воды ионов железа, кобальта, никеля, цинка, кадмия, хрома, свинца, ртути сорбентом ОБР-1 / Н. М. Алыков, А. В. Павлова, Г. Б. Абуова и др. // Экология и промышленность России. ЭЖИП. – 2011. – Сентябрь. – С. 26–28.
9. Беспамятнов Г. П., Богушевская К. К., Беспамятнова А. В. Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе и воде / Г. П. Беспамятнов, К. К. Богушевская, А. В. Беспамятнова. – 2-е изд. пер. и доп. – Ленинград : Химия, 1975. – 528 с.
10. Закономерности очистки воды от масел и нефтепродуктов с помощью сорбционно-коалесцирующих материалов : автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.23.04 / Ур. гос. техн. ун-т. – Екатеринбург, 2005. – 18 с.
11. Юрьев Ю. Ю. Совершенствование очистки нефтесодержащих сточных вод / Ю. Ю. Юрьев, В. П. Батманов, А. В. Москвичева, Д. О. Игнаткина, Д. В. Тырин // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2022. – Вып. 4(89). – С. 152–160.
12. Адоньева А. А. Взаимосвязь качественных показателей пластификаторов и свойств полимерно-битумных вяжущих / А. А. Адоньева, П. А. Лукьянец, Н. А. Лушников, А. С. Покатаев, Н. И. Савенкова, В. Е. Николаевский, Д. Ю. Небрятенко // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2022. – № 3 (41). – С. 51–56.
13. Москвичева Е. В. Моделирование сорбционных процессов для очистки природных вод / Е. В. Москвичева, Г. Б. Абуова, И. Ю. Болотина, А. М. Тюрин // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2017. – № 1 (19). – С. 35–38.
14. Золотокопова С. В. Пути защиты окружающей среды от нефтесодержащих отходов / С. В. Золотокопова, С. А. Сеитова, Э. Г. Альбикова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2015. – № 3 (13). – С. 34–37
15. Пат. 1305128 Российская Федерация, МПК C02F 1/28 C02F 101/32 C02F 103/00 E02B 15/04. Способ очистки поверхности воды от нефти / А. Р. Курбаков, В. Н. Долгин. – № 3789329 ; заявл. 27. 07.1984 ; опубл. 23.04.1987, Бюлл. № 15. – 4 с.

© Ю. Ю. Юрьев, Н. В. Дудникова, Е. Р. Чайка, Д. П. Яковлев, А. В. Москвичев

Ссылка для цитирования:

Юрьев Ю. Ю., Дудникова Н. В., Чайка Е. Р., Яковлев Д. П., Москвичев А. В. Производство сорбентов на основе нефте- и алюмоотходов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2024. № 1 (47). С. 11–15.

УДК 69:006

DOI 10.52684/2312-3702-2024-47-1-15-20

КЛАССИФИКАЦИЯ СООРУЖЕНИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ВОЗМОЖНОСТИ ЗАЩИТЫ ОТ ПРОГРЕССИРУЮЩЕГО ОБРУШЕНИЯ

Н. Н. Трекин, Э. Н. Кодыш, И. А. Терехов, С. Д. Шмаков

Трекин Николай Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры железобетонных и каменных конструкций, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (МГСУ), г. Москва, Российская Федерация; тел.: + 7 (495) 482-38-72; e-mail: otk@yandex.ru;

Кодыш Эмиль Наумович, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, АО «Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт промышленных зданий и сооружений – ЦНИИПромзданий», г. Москва, Российская Федерация; тел.: + 7 (495) 482-35-65; e-mail: otk@yandex.ru;

Терехов Иван Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций, зданий и сооружений, Российский университет транспорта (РУТ МИИТ), г. Москва, Российская Федерация; тел.: + 7 (495) 482-44-65; e-mail: terekhov-i@mail.ru;