

Совместная утилизация полимерных и кирпичных отходов для получения облицовочного композиционного материала

Л.С. Филиппова, А.С. Акимова, Е.С. Пикалов

Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых

Аннотация: В работе представлены результаты исследований по разработке состава сырьевой смеси для получения облицовочного композиционного материала строительного назначения. В состав сырьевой смеси вводились кирпичный бой в качестве наполнителя, отходы изделий из непластифицированного поливинилхлорида в качестве связующего и метиленхлорид для растворения полимерных отходов. Данный состав позволяет проводить перемешивание и прессование без нагревания, что исключает возможность деструкции полимерной составляющей. После прессования проводится термообработка при температуре испарения растворителя. В работе показаны зависимости основных физико-механических характеристик получаемого материала от степени наполнения. Установлено максимальное количество наполнителя, которое позволяет получить материал без недостатка связующего. При недостатке связующего наблюдались снижение прочности и превышение доли открытых пор над закрытыми. По результатам экспериментов выбраны соотношение полимер: растворитель и степень наполнения, позволяющие получить материал с максимальным значением прочностных характеристик. Практическое применение разработанного состава сырьевой смеси позволит комплексно утилизировать маловостребованные и крупнотоннажные полимерные и кирпичные отходы с получением композиционного материала для облицовки зданий и сооружений.

Ключевые слова: полимерный композиционный материал, облицовочный материал, полимерные отходы, кирпичный бой, поливинилхлорид, метиленхлорид

Введение

На сегодняшний день полимеры и материалы на полимерной основе применяются практически во всех областях человеческой деятельности, а объемы их производства и потребления с каждым годом только увеличиваются. К причинам такого распространения относятся большое разнообразие полимеров и очень широкие возможности по их синтезу и модификации различными функциональными добавками [1-3]. Это позволяет в широком диапазоне изменять свойства полимеров, особенно за счет наполнения их различными по природе, форме и состоянию материалами с получением композитов. В результате, материалы и изделия на полимерной основе обладают значительными преимуществами, среди которых

основными являются легкость, прочность, влагостойкость и химическая стойкость [4-6].

Однако большие объемы производства и потребления полимерной продукции являются причинами образования большого количества промышленных и бытовых отходов. Особенности полимерных отходов являются очень медленные процессы разложения и токсичность веществ, образующихся при деструкции и горении большинства полимеров [7, 8]. Для бытовых полимерных отходов также характерно наличие примесей, в т.ч. не полимерных, и частичная деструкция, происходящая со временем под влиянием внешних факторов [9, 10]. Кроме того, стоит учитывать низкую распространенность селективного сбора полимерных отходов и технологий их переработки, особенно в случае реактопластов и отходов потребления. В результате полимерные отходы накапливаются быстрыми темпами и в больших объемах, что с каждым годом повышает актуальность поиска путей их утилизации для снижения антропогенной нагрузки на окружающую среду.

Одним из универсальных направлений переработки полимерных отходов является производство строительных материалов и изделий. В этом случае возможна переработка больших объемов различных по природе и состоянию полимеров, применяемые технологии отличаются сравнительной простотой и энергоэффективностью, а получаемая продукция характеризуется достаточно высоким качеством и в определенной степени обладает указанными выше преимуществами материалов и изделий, содержащих полимерные компоненты. Наиболее перспективными направлениями в данной области являются комплексная утилизация разнородных, в т.ч. не полимерных, отходов и применение вторичных полимеров в качестве функциональных добавок для повышения эксплуатационных характеристик продукции [9, 11, 12].

Целью данной работы является исследование возможности совместной утилизации полимерных и кирпичных отходов с получением композиционного материала для строительной облицовки.

Объекты и методы исследования

Полимерным компонентом разрабатываемой сырьевой смеси являлись собранные из различных источников отходы производства и потребления стыковочных профилей, плинтусов и отделочных стеновых панелей из непластифицированного поливинилхлорида. Данные отходы в достаточно больших количествах накапливаются при резке изделий под нужный размер, при строительстве и ремонте, а их утилизация затруднена по указанным выше причинам [13-15].

В качестве наполнителя применялся бой рядового керамического кирпича из различных источников. Кирпичный бой высокими темпами и в больших объемах накапливается при производстве и транспортировке кирпича, во время возведения, ремонта или демонтажа. Лишь небольшая часть от этих отходов применяется в дорожно-строительных работах, для получения строительных материалов, преимущественно бетонов, или как дренажный материал, поэтому поиск путей его утилизации является актуальной задачей [16-18].

Полимерные и кирпичные отходы предварительно по отдельности промывали, сушили до постоянной массы и измельчали до получения размера частиц не более 0,63 мм и отдельно перемешивали для усреднения состава отходов из различных источников.

Для растворения полимерных отходов использовали метиленхлорид первого сорта по ГОСТ 9968-86 с содержанием основного компонента не менее 98,8 мас. %. Данный растворитель отличается хорошей проникающей способностью, высокой летучестью и низкой стоимостью, пожаро- и взрывобезопасен, относится к 4 классу опасности.

Растворение полимерных отходов позволяет применять холодные смешивание и прессование, а дальнейшая обработка при температуре летучести метиленхлорида (около 40 °С) значительно ниже температуры плавления поливинилхлорида (около 160-180 °С), что позволяет существенно снизить энергоемкость получения композита. Применение низкотемпературной технологии также позволяет избежать деструкции полимера, что особенно важно для поливинилхлорида, который является нетермостабильным из-за близких значений температур плавления и начала деструкции (около 180-220 °С). В случае практического применения данной технологии для уменьшения потерь растворителя при улетучивании рекомендуется герметизация производственной линии с улавливанием и конденсацией паров метиленхлорида для его неоднократного применения в производственном цикле [9, 13].

При переработке предварительно подготовленные полимерные отходы растворяли в метиленхлориде в определенных массовых пропорциях между количеством полимера и растворителя. К полученному раствору добавляли заранее подготовленный кирпичный бой и перемешивали до получения однородной сырьевой смеси. Образцы получали прессованием при давлении 8 МПа и термообработке при 45-50 °С в течение 45 мин для удаления растворителя. После этого образцы кондиционировали в течение 24 ч [13].

У образцов определяли кажущуюся (среднюю) плотность (ρ , кг/м³) по ГОСТ 12730.1-2020, прочность на сжатие ($\sigma_{сж}$, МПа) по ГОСТ 10180-2012, прочность на изгиб ($\sigma_{изг}$, МПа), водопоглощение (В, %) и морозостойкость (М, циклы) по ГОСТ 27180-2019, открытую, закрытую и общую пористость (П, %) по ГОСТ 12730.4-2020 и теплопроводность (λ , Вт/(м·°С)) по ГОСТ 30256-94.

Результаты и обсуждение

Одним из основных показателей облицовочного материала является прочность на изгиб, по значению которой у разрабатываемого материала (см. рис. 1) был произведен выбор соотношения полимер: растворитель в составе сырьевой смеси.

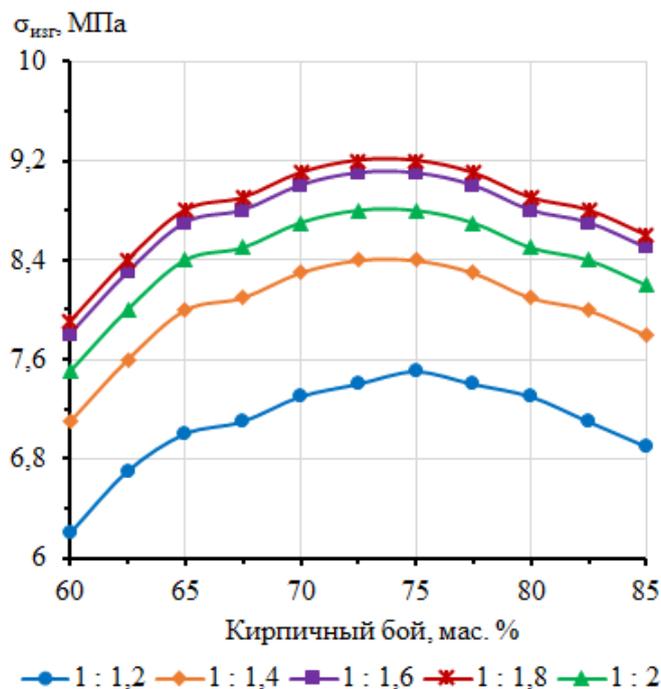


Рис. 1. Зависимость прочности на сжатие от соотношения компонентов

Как видно из полученных данных наименьшей прочностью отличается материал, при получении которого применялось соотношение полимер: растворитель, равное 1: 1,2. Это связано с тем, что при этом в растворе происходит только гелеобразование, что не позволяет получить достаточную однородность композиции при перемешивании и прессовании, а также приводит к началу затвердевания связующего еще при завершении перемешивания сырьевой смеси, не позволяя качественно провести формование образца. С повышением соотношения полимер: растворитель до 1: 1,8 повышается степень набухания полимера и понижается вязкость раствора связующего, что повышает гомогенность при перемешивании и

степень уплотнения при прессовании. Это в свою очередь увеличивает равномерность и прочность структуры материала. При соотношениях полимер: растворитель свыше 1: 1,8 степень набухания и вязкость изменяются незначительно. В тоже время чрезмерно повышается влажность сырьевой смеси, что затрудняет эффективное перемешивание, приводя к избыточному уплотнению и образованию облоя при прессовании, формированию перепрессовочных трещин и расслоению после снятия нагрузки. Кроме того, после удаления растворителя в материале наблюдается недостаток связующего, проявляющийся в снижении прочности и осыпании граней образцов. В связи с тем, что дальнейшее повышение количества растворителя относительно соотношения полимер: растворитель, равного 1 : 1,6, практически не дает повышения прочности и может привести к указанным дефектам, было принято решение в дальнейших экспериментах использовать данное соотношение.

При продолжении исследования было установлено, что прочностные характеристики материала (см. рис. 1 и 2) повышаются с увеличением степени его наполнения до 72,5 мас. % и начинают снижаться при содержании кирпичного боя более 75 мас. %. Это объясняется тем, что в начале идет эффективное наполнение полимерной основы композита с формированием каркаса из частиц кирпичного боя, соединенных через слои поливинилхлорида. Однако при количестве наполнителя более 75 мас. % наблюдается недостаток полимерного связующего, который вначале проявляется в повышении пористости, уменьшении толщины полимерных слоев и снижении площади контакта полимер: наполнитель, а затем в объеме материала начинают появляться не связанные полимером частицы кирпичного боя, число которых интенсивно увеличивается.

Рост пористости материала с увеличением количества наполнителя подтверждается экспериментальными данными (см. рис. 3).

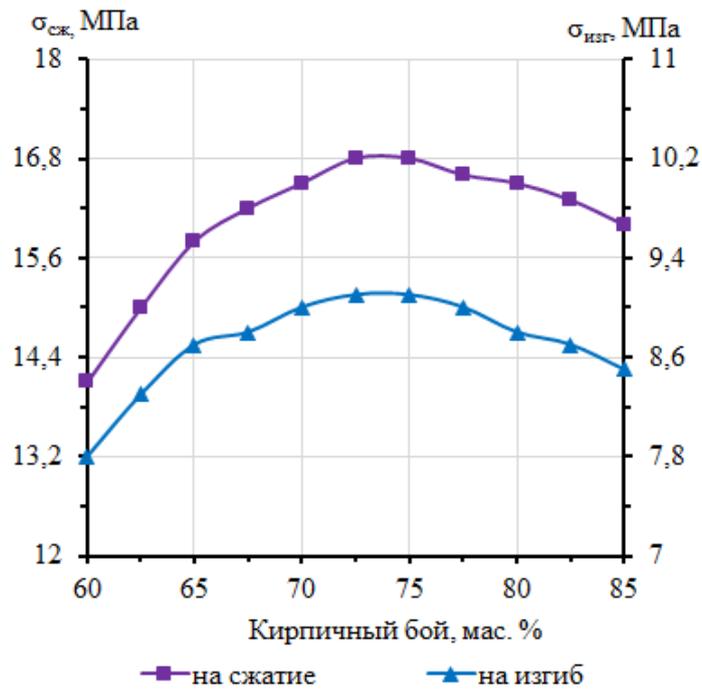


Рис. 2. Зависимость прочности на сжатие и изгиб от количества кирпичного боя

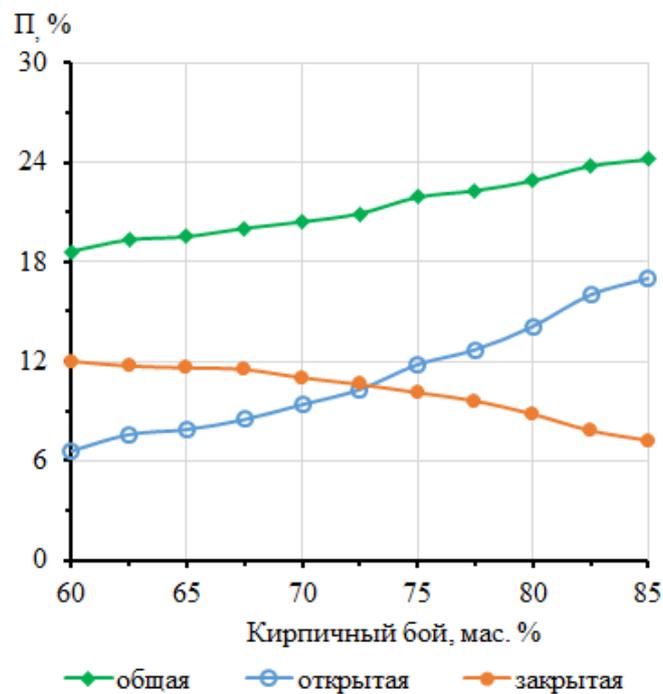


Рис. 3. Зависимость пористости от количества кирпичного боя

По полученным результатам видно, что закрытая пористость в объеме материала понижается, а общая и открытая пористость растут. Это объясняется, с одной стороны, уменьшением количества связующего в объеме материала, что повышает количество пустот и не позволяет полимерным слоям перекрывать все поры, превращая открытые поры в закрытые. С другой стороны источниками пор также являются процессы испарения растворителя, микропористость частиц кирпичного боя и неидеальная смачиваемость раствором связующего поверхности частиц наполнителя. Следует обратить внимание, что при степени наполнения свыше 72,5 мас. % закрытых пор в материале становится меньше открытых, что является признаком недостатка связующего.

В тоже время общее количество пор в объеме при увеличении количества наполнителя меняется незначительно, поэтому повышение степени наполнения материала приводит к росту плотности и теплопроводности (см. рис. 4). Это связано с тем, что плотность и теплопроводность кирпичного боя ($\rho = 2150 \text{ кг/м}^3$ и $\lambda = 0,655 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$) значительно выше, чем у поливинилхлорида ($\rho = 1390 \text{ кг/м}^3$ и $\lambda = 0,175 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$). Выравнивание плотности при степенях наполнения свыше 75 мас. % связано с практически одинаковыми степенями уплотнения при прессовании. Повышение общей пористости и увеличение доли открытых пор с увеличением степени наполнения материала отражается на росте водопоглощения (см. рис. 5). Это становится причиной снижения морозостойкости, поскольку вода, находящаяся в порах материала, при замерзании увеличивается в объеме и вызывает напряжения, которые уменьшают число циклов замораживания-оттаивания, которые способен выдержать образец без разрушения.

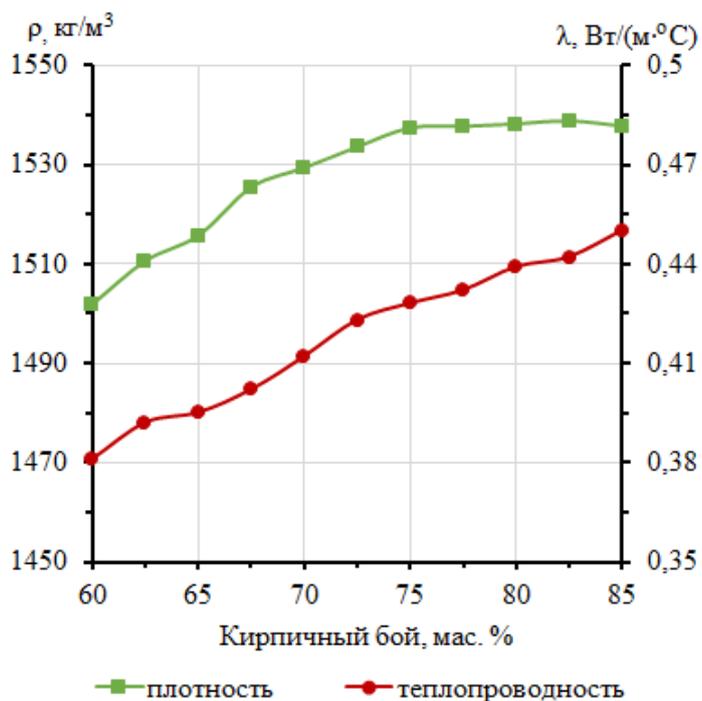


Рис. 4. Зависимость плотности и теплопроводности от количества кирпичного боя

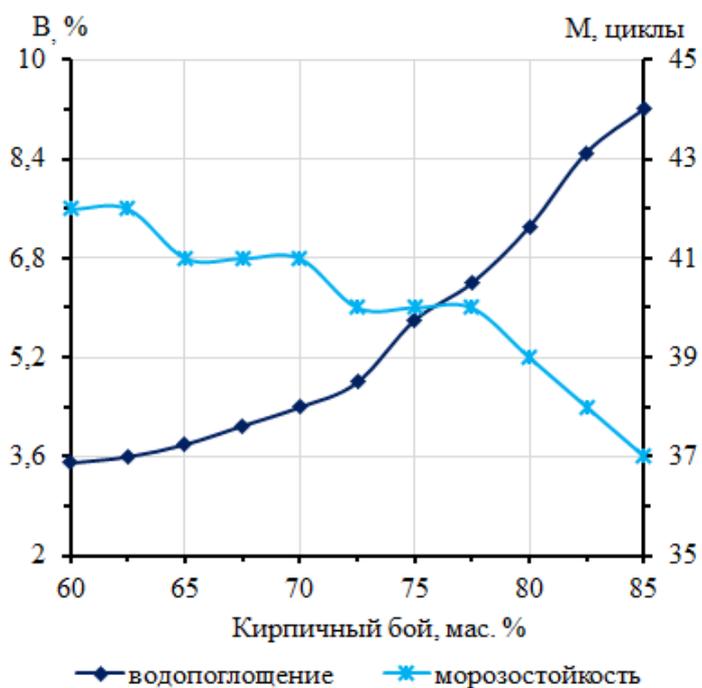


Рис. 5. Зависимость водопоглощения и морозостойкости от количества кирпичного боя

На основании полученных данных было принято решение, что оптимальная степень наполнения материала составляет 75 мас. %, поскольку это позволяет утилизировать максимальное количество кирпичных отходов, а дальнейшее наполнение приводит к снижению прочности и дальнейшему повышению водопоглощения.

Выводы

Из результатов работы следует, что при использовании кирпичного боя в качестве наполнителя и вторичного поливинилхлорида в качестве связующего может быть получен композиционный материал для строительной облицовки. Экспериментально доказано, что для получения однородной структуры и высокой прочности материала полимерное связующее может быть получено растворением отходов в метиленхлориде при массовом соотношении полимер: растворитель, равном 1: 1,6.

Установлено, что прочность материала повышается при увеличении степени наполнения полимерного связующего до 72,5-75 мас. %. При большем содержании наполнителя наблюдается недостаток связующего, проявляющийся в снижении прочности, резком росте водопоглощения и преобладании открытых пор над закрытыми. При этом наполнение полимерного связующего кирпичным боем приводит к повышению плотности и теплопроводности материала.

Степень наполнения 75 мас. %, позволяющая утилизировать наибольшее количество кирпичных отходов и получить максимальную прочность материала, может быть получена при использовании состава сырьевой смеси, включающей 53,6 мас. % кирпичного боя, 17,9 мас. % отходов изделий из непластифицированного поливинилхлорида и 28,6 мас. % метиленхлорида. Практическое применение разработанного состава сырьевой смеси позволит совместно утилизировать маловостребованные и

крупнотоннажные полимерные и кирпичные отходы с получением композиционного строительного материала.

Литература

1. Колосова А.С., Пикалов Е.С. Современные газонаполненные полимерные материалы и изделия // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2020. № 10. С. 54-67.

2. Языева С.Б., Кулинич П.Б. Экологический аспект в дизайне изделий из полимеров // Инженерный вестник Дона. 2012. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2012/840

3. Kazemi M., Fini E.H. State of the art in the application of functionalized waste polymers in the built environment // Resources, Conservation and Recycling. 2022. Vol. 177. P. 105967.

4. Павлычева Е.А., Пикалов Е.С. Современные энергоэффективные конструкционные и облицовочные материалы // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2020. №7. С. 76-87.

5. Мелешин М.А., Саламех А., Алсаид М. Опыт применения композитных материалов в судостроении // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2022. № 2. С. 44-50.

6. Дориомедов М.С., Дасковский М.И., Скрипачев С.Ю., Шеин Е.А. Полимерные композиционные материалы в железнодорожном транспорте России (обзор) // Труды ВИАМ. 2016. № 7 (43). С. 113-118.

7. Сиков Н.Е., Серёгин А.И., Юркин Ю.В. Использование пластиковых отходов в качестве заполнителя в цементном растворе и приготовлении бетона // Инженерный вестник Дона. 2022. №8. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2022/7845

8. Массеров Д.А., Массеров Д.Д. Методы разложения пластиковых отходов // Инженерный вестник Дона. 2023. №5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2023/8406

9. Колосова А.С., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г. Теплоизоляционный композиционный материал на основе древесных и полимерных отходов // Экология и промышленность России. 2020. № 2. С. 28-33.

10. Jung H., Shin G., Kwak H., Hao L.T., Jegal J., Kim H.J., Jeon H., Park J., Oh D.X. Review of polymer technologies for improving the recycling and upcycling efficiency of plastic waste // Chemosphere. 2023. Vol. 320. P. 138089.

11. Duarte G.M., Faxina A.L. Asphalt concrete mixtures modified with polymeric waste by the wet and dry processes: A literature review // Construction and Building Materials. 2021. Vol. 312. P. 125408.

12. Martínez-López M., Martínez-Barrera G., Salgado-Delgado R., Gencel O. Recycling polypropylene and polyethylene wastes in production of polyester based polymer mortars // Construction and Building Materials. 2021. Vol. 274. P. 121487.

13. Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г. Разработка способа получения облицовочного композиционного материала на основе полимерных и стекольных отходов // Экология промышленного производства. 2018. № 3. С. 2-6.

14. Ершова О.В., Чупрова Л.В. Получение композиционного материала на основе вторичного поливинилхлорида и техногенных минеральных отходов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 5-1. С. 9-12.

15. Захарян Е.М., Петрухина Н.Н., Максимов А.Л. Направления вторичной химической переработки поливинилхлорида (обзор). Часть 1 // Журнал прикладной химии. 2020. № 9. С. 1218-1262.



16. Романенко И.И., Романенко М.И., Петровнина И.Н., Пинт Э.М., Еличев К.А. Вторичное использование в дорожном строительстве щебня полученного из дробленого бетона // Интернет-журнал Науковедение. 2015. № 1. С. 86.
17. Баталов С.В. Утилизация строительных отходов при новом строительстве, сносе и рекультивации земель // Перспективы науки. 2021. № 5. С. 135-140.
18. Романенко И.И. Применение лома глиняного кирпича в качестве крупного заполнителя бетонов // Инженерный вестник Дона. 2022. №12. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2022/8051

References

1. Kolosova A.S., Pikalov E.S. Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij. 2020. № 10. P. 54-67.
2. Yazyeva S.B., Kulinich P.B. Inzhenernyj vestnik Dona. 2012. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2012/840
3. Kazemi M., Fini E. H. Resources, Conservation and Recycling. 2022. Vol. 177. P. 105967.
4. Pavlycheva E.A., Pikalov E.S. Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij. 2020. №7. P. 76-87.
5. Meleshin M.A., Salamekh A., Alsaid M. Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya. 2022. № 2. P. 44-50.
6. Doriomedov M.S., Daskovskij M.I., Skripachev S.Yu., Shein E.A. Trudy VIAM. 2016. № 7 (43). P. 113-118.
7. Sikov N.E., Seryogin A.I., Yurkin Yu.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2022. №8. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2022/7845
8. Masserov D.A., Masserov D.D. Inzhenernyj vestnik Dona. 2023. №5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2023/8406



9. Kolosova A.S., Pikalov E.S., Selivanov O.G. Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 2020. № 2. P. 28-33.
10. Jung H., Shin G., Kwak H., Hao L.T., Jegal J., Kim H.J., Jeon H., Park J., Oh D.X. Chemosphere. 2023. Vol. 320. P. 138089.
11. Duarte G.M., Faxina A.L. Construction and Building Materials. 2021. Vol. 312. P. 125408.
12. Martínez-López M., Martínez-Barrera G., Salgado-Delgado R., Gencel O. Construction and Building Materials. 2021. Vol. 274. P. 121487.
13. Vitkalova I.A., Torlova A.S., Pikalov E.S., Selivanov O.G. Ekologiya promyshlennogo proizvodstva. 2018. № 3. P. 2-6.
14. Ershova O.V., Chuprova L.V. Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij. 2015. № 5-1. P. 9-12.
15. Zaharyan E.M., Petruhina N.N., Maksimov A.L. Zhurnal prikladnoj himii. 2020. № 9. P. 1218-1262.
16. Romanenko I.I., Romanenko M.I., Petrovnina I.N., Pint E.M., Elichev K.A. Internet-zhurnal Naukovedenie. 2015. № 1. P. 86.
17. Batalov S.V. Perspektivy nauki. 2021. № 5. P. 135-140.
18. Romanenko I.I. Inzhenernyj vestnik Dona. 2022. №12. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2022/8051