

Преимущества утилизации торфяной золы при производстве строительной керамики

УДК 691.421

DOI: <https://doi.org/10.29039/2308-0191-2025-13-4-C0018>

Номер статьи: C0018

Сахарова Антонина Сергеевна

канд. техн. наук, доцент,

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I,
доцент кафедры «Инженерная химия и естествознание»

Санкт-Петербург, Россия

SPIN: 9047-0013

asakharova@pgups.ru

Спрыжкова Юлия Игоревна

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I,
магистрант кафедры «Инженерная химия и естествознание»

Санкт-Петербург, Россия

SPIN: 3821-4960

yuliaspryzhkova@yandex.ru

Рожкова Инна Евгеньевна

ООО «ПИНДСТРУП», инженер-эколог

Луга, Россия

eip@pindstrup.ru

Статья получена: 01.11.2025. Одобрена: 20.11.2025. Опубликовано онлайн: 25.12.2025. © РИОР

Аннотация. Исследованы возможности утилизации золы, образующейся при сжигании торфа в котельных установках, и обосновано её применение в качестве вторичного техногенного сырья при производстве строительных керамических материалов. Рассмотреть химико-минералогический состав торфяной золы, определить её влияние на физико-механические свойства керамических изделий и оценить потенциал использования данного отхода для снижения экологической нагрузки на окружающую среду и реализации принципов циркулярной экономики. Проведён анализ химического состава золы, полученной на предприятии ООО «ПИНДСТРУП», с определением содержания оксидов кремния, алюминия, кальция, железа и других элементов. Использованы сравнительно-аналитические методы, включающие обзор научных источников и сопоставление полученных данных с известными результатами исследований в области переработки промышленных и агропромышленных отходов. Установлено, что зола торфяного происхождения характеризуется высоким содержанием SiO_2 и Al_2O_3 , что обеспечивает её пригодность для использования в составе керамической шихты. Добавление 10–20 % золы способствует снижению температуры спекания, повышению прочности и теплоизоляционных свойств изделий, а также уменьшению их массы. Показана экологическая безопасность материала вследствие низкого содержания тяжёлых металлов. Применение торфяной золы в производстве строительной керамики позволяет снизить себестоимость продукции, уменьшить нагрузку на природные ресурсы и повысить экологическую эффективность строительной индустрии. Полученные результаты подтверждают перспективность вовлечения золы от сжигания торфа в циркулярные производственные циклы, что соответствует принципам устойчивого развития и

ресурсосбережения и внедрения инновационных экологически безопасных технологий в строительное производство.

Ключевые слова: зола от сжигания торфа, вторичное сырьё, строительные материалы, керамика, химический состав, утилизация отходов.

Advantages of recycling peat ash in the production of building ceramics

Sakharova Antonina Sergeevna

Ph. D. in Engineering, associate professor

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

Department of Engineering Chemistry and Natural Science, Associate Professor

St. Petersburg, Russian Federation

asakharova@pgups.ru

Spryzhkova Yulia Igorevna

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University,

Department of Engineering Chemistry and Natural Science, Master's student

St. Petersburg, Russian Federation

yuliaspryzhkova@yandex.ru

Rozhkova Inna Evgenievna

PINDSTRUP LLC,

Environmental engineer

Luga city, Russian Federation

eip@pindstrup.ru

Abstract. The possibilities of ash recycling from peat combustion in boiler plants have been studied. Its use as a secondary technogenic raw material in the production of construction ceramic materials is justified. Consider the chemical-mineralogical composition of peat ash, determine its influence on the physical and mechanical properties of ceramic products and evaluate the potential of using this deviation to reduce environmental impact on the environment and implement principles of circular economy. Methods: A chemical analysis of the ash obtained at «PINDSTRUP» company was carried out, determining the content of oxides of silicon, aluminium, calcium, iron and other elements. Comparative analytical methods are used, including a review of scientific sources and comparison of the data obtained with known research results in the field of industrial and agro-industrial waste treatment. Results: It was found that peat ash is characterized by high content of SiO and Al O, which provides its suitability for use in the composition of ceramic pulp. The addition of 10-20% ash contributes to lower sintering temperature, increased strength and heat insulation properties of products, as well as reducing their mass. The material is shown to be environmentally safe due to low content of heavy metals. Practical relevance: The use of peat ash in the production of building ceramics reduces the cost of production, reduces the burden on natural resources and increases the environmental efficiency of the construction industry. The results confirm the promise of inclusion of ash from burning peat in circular production cycles, which is consistent with the principles of sustainable development and resource conservation and the introduction of innovative environmentally friendly technologies into construction production.

Keywords: peat combustion ash, secondary raw material, building materials, ceramics, chemical composition, waste utilization.

Введение

Современные тенденции в области охраны окружающей среды и рационального природопользования диктуют необходимость пересмотра подходов к утилизации твёрдых минеральных и техногенных отходов. Существенные объёмы зольных остатков, образующихся при сжигании органического топлива, включая торф, остаются практически не востребованными в промышленности, несмотря на их потенциальную ценность. В последние годы особое внимание уделяется переходу к циркулярной (замкнутой) модели экономики, в рамках которой отходы рассматриваются не как конечный продукт производственного цикла, а как потенциальный источник вторичных ресурсов. Подобный подход позволяет сократить потребление природного сырья, уменьшить углеродный след производства и снизить нагрузку на экосистемы. В этой связи исследование состава и технологических свойств золы торфяного происхождения становится актуальной задачей как для строительной отрасли, так и для сферы экологического менеджмента. Зола, образующаяся при сжигании торфа, представляет собой многокомпонентную систему, включающую минеральные фазы различной природы, что предопределяет её потенциал для использования в качестве вторичного минерального сырья. При этом степень её пригодности определяется не только химическим составом, но и физико-химическими свойствами, такими как удельная поверхность, дисперсность и активность в процессах спекания.

Торфяная зола, в силу своего химического состава, близка к ряду традиционных минеральных материалов, используемых в строительной керамике. При этом мировая практика демонстрирует успешные примеры вовлечения различных видов зол и шламов в производство строительных изделий с улучшенными эксплуатационными характеристиками. В условиях истощения природных ресурсов и экологических ограничений особенно важным становится использование местных, дешёвых и малоценных отходов, способных заменить дорогостоящие природные аналоги.

Настоящая работа посвящена исследованию химических свойств золы, образующейся в результате сжигания торфа, и оценке её пригодности в качестве вторичного сырья в керамическом производстве.

Дополнительный интерес представляет оценка влияния условий сжигания торфа на характеристики получаемой золы. Известно, что температура горения, наличие избытка кислорода и состав исходного топлива напрямую определяют фазовый состав зольного остатка. Например, повышение температуры сжигания способствует образованию более устойчивых оксидных фаз и частичному спеканию частиц золы, что снижает её реакционную способность. В то же время при умеренных температурах (до 900 °C) зола сохраняет высокую удельную поверхность и повышенную химическую активность, что делает её более перспективной для керамического производства.

В современных условиях проблема утилизации твёрдых минеральных отходов приобретает всё большую актуальность в связи с ростом объёмов их образования при добыче и переработке минеральных ресурсов. Увеличение масштабов производства и потребления минерального сырья сопровождается нарастанием экологических и экономических последствий, связанных с образованием значительных объёмов отходов, включая горные породы, шламы, хвосты и иные материалы. Отсутствие эффективных технологий их переработки может способствовать загрязнению окружающей среды и представлять угрозу здоровью населения.

Методы утилизации минеральных отходов

На сегодняшний день одной из ключевых задач в области охраны окружающей среды и рационального природопользования является разработка и внедрение эффективных методов утилизации минеральных отходов. Традиционные способы, в частности захоронение на полигонах, не только требуют значительных территориальных ресурсов, но и сопряжены с рисками вторичного загрязнения почвы и водных объектов. В качестве альтернативы рассматривается возможность повторного использования указанных отходов в строительной отрасли, включая производство строительных и отделочных материалов.

По данным Европейской ассоциации по утилизации золы (ЕСОБА), в странах ЕС более 70 % зол и золошлаковых отходов энергетических предприятий повторно вовлекаются в хозяйственный оборот, в том числе в производстве цемента, бетона и керамических изделий. В России этот показатель не превышает 10–12 %, что объясняется недостаточной нормативной базой и ограниченной технологической отработанностью методов переработки. Введение в промышленную практику вторичных минеральных ресурсов, таких как торфяная зола, позволяет не только минимизировать объемы отходов, но и обеспечить импортонезависимость отечественного производства строительных материалов.

Перспективным направлением является создание высокоэффективных композитных материалов, получаемых по экологически чистым технологиям с использованием дешёвого, массово доступного и зачастую не востребованного в иных сферах сырья как природного, так и техногенного происхождения. Разработка таких материалов соответствует современным концепциям устойчивого развития, замкнутого производственного цикла и ресурсосбережения [1]. Научный интерес вызывает также возможность целенаправленного регулирования фазового состава золы с помощью добавок, влияющих на образование активных алюмосиликатных комплексов при обжиге.

Одним из наиболее разработанных и практически значимых направлений утилизации техногенных отходов является получение керамических строительных материалов. Экономическая эффективность производства изделий из вторичного сырья обусловлена, в частности, предотвращённым экологическим ущербом и более низкой себестоимостью сырья по сравнению с природными аналогами — в среднем в 2–3 раза [2].

Помимо экономического эффекта, применение золы способствует улучшению ряда эксплуатационных характеристик керамических изделий. Введение зольных компонентов повышает пористость массы, что снижает теплопроводность и улучшает звукоизоляционные свойства материала. Одновременно зола может выступать как флюс, ускоряющий процессы спекания и обеспечивающий равномерное распределение жидкой фазы при обжиге.

В контексте современных климатических вызовов использование золы как вторичного сырья может рассматриваться также как элемент декарбонизационной стратегии строительной отрасли. Сокращение доли природного глинистого сырья ведёт к уменьшению объёмов горных разработок и, соответственно, снижению углеродного следа. Таким образом, технологическая интеграция зольных компонентов в производство строительных материалов решает сразу несколько задач: утилизацию отходов, экономию природных ресурсов и уменьшение выбросов CO₂.

Значительный интерес представляют исследования, направленные на комплексное использование золы вместе с другими техногенными продуктами — например, с отходами стекольного, цементного и металлургического производств. Совместное применение различных минеральных добавок позволяет достичь синергетического эффекта, выражающегося в повышении прочности и плотности керамических изделий, снижении их водопоглощения и увеличении морозостойкости.

Торфяная зола, в отличие от золы угольного происхождения, характеризуется более низким содержанием тяжёлых металлов, что делает её экологически безопасной для применения в строительных материалах. Кроме того, наличие фосфора и кальция открывает возможность использования золы не только в строительстве, но и в сельском хозяйстве в качестве минеральной добавки в удобрения.

Особое внимание заслуживает вопрос стандартизации и сертификации золы как вторичного ресурса. Для промышленного применения требуется разработка технических условий, включающих классификацию по химическому составу, степени дисперсности и содержанию вредных примесей. Это позволит обеспечить стабильность качества продукции и снизить технологические риски при масштабном внедрении.

С учётом текущих тенденций можно прогнозировать, что в ближайшие годы доля использования золы и золошлаков в строительных материалах будет расти, особенно в регионах с развитой энергетикой на органическом топливе. Развитие данного направления требует координации усилий научных центров, промышленных предприятий и органов

государственной власти для формирования единой стратегии обращения с золошлаковыми отходами.

По данным В.Ф. Павлова, объём производства нерудных строительных материалов с использованием отходов в Великобритании и Германии составляет порядка 30 млн тонн в год, тогда как в России этот показатель не превышает 100 тыс. тонн [3]. Это свидетельствует о наличии значительного потенциала для расширения применения вторичных ресурсов в отечественном строительном комплексе.

Широкое распространение получили исследования, направленные на использование органических отходов агропромышленного комплекса для получения строительной керамики. Среди них можно выделить рисовую шелуху, отходы хлопкоочистки, жмых оливкового масла, пшеничную солому, дроблёные косточки и другие. В России объём агропромышленных отходов составляет порядка 770 млн тонн в год, из которых около 14,6 млн тонн приходятся на растительные компоненты. По состоянию на 2024 год наблюдается рост объёмов органических отходов на 8,7 % по сравнению с 2023 годом. В странах с развитым сельским хозяйством, таких как Испания, Франция и Чили, такие виды отходов активно вовлекаются в процесс производства строительных керамических материалов.

Значительный вклад в развитие данного направления вносят испанские исследователи, изучающие возможность применения отходов производства оливкового масла [4, 5]. Так, использование жмыха в качестве порообразующей добавки при производстве кирпича позволяет снизить его объёмную плотность и теплопроводность при сохранении достаточных прочностных характеристик.

Аналогично перспективным является использование шламов целлюлозно-бумажной промышленности. В ряде технологических решений доля шлама может достигать 20–40 % в сухом веществе. В работе [6] представлены данные об использовании смеси красной глины, бумажного шлама и стеклобоя. Полученные при температуре обжига 1050–1100 °С керамические образцы продемонстрировали более высокие физико-механические характеристики по сравнению с образцами, содержащими только глину.

Истощение природной сырьевой базы в производстве керамики обуславливает необходимость вовлечения в технологический процесс зол и золошлаковых отходов. Состав и свойства зол зависят от вида топлива, параметров его сжигания и условий хранения отходов. Потенциал для использования в строительной отрасли представляют отходы, получаемые при эксплуатации тепловых электростанций, котельных, мусоросжигательных установок и других объектов энергетической инфраструктуры.

Отдельный интерес представляет зола, образующаяся при сжигании торфа. По данным на 2020 год, в России функционировали отдельные крупные энергетические объекты, использующие торф в качестве топлива, включая Кировскую ТЭЦ-4 (Кировская область) и Шарьинскую ТЭЦ (Костромская область). На 2024 год сохраняется эксплуатация торфяных котельных в ряде регионов, что создаёт предпосылки для изучения возможности переработки золы торфяного происхождения в строительной индустрии.

Кроме того, научные коллективы Республики Беларусь продемонстрировали успешные результаты использования древесной золы в качестве добавки при производстве керамических изделий с улучшенными теплоизоляционными характеристиками, что подтверждает обоснованность интеграции различных видов зол в керамические массы.

Учитывая позитивные результаты, полученные при применении древесной золы в технологии керамики, представляет интерес расширение спектра используемых зольных материалов за счёт отходов от сжигания других видов органического топлива, в частности торфа. Зола от сжигания торфа, обладая сопоставимыми физико-химическими свойствами, может рассматриваться как альтернативный кремнеглиноземистый компонент, способный обеспечить аналогичный или даже более высокий технико-экономический эффект. В этом контексте становится особенно актуальным изучение её химического состава, что позволит оценить возможности эффективного и экологически обоснованного включения данного техногенного продукта в производственные циклы.

Торф, представляющий собой низкокалорийное топливо органического происхождения, характеризуется высокой гетерогенностью компонентного состава,

включающего органические соединения, минеральные фракции и биогенные включения. В процессе сжигания торфа образуется зольный остаток – зола от сжигания торфа, обладающая сложным и переменным минеральным составом, определяющим её потенциальную ценность в различных отраслях промышленности.

Комплексный анализ химических характеристик золы позволяет оценить возможности её вторичного использования, в частности, в строительной, керамической и агрохимической отраслях. Таким образом, исследование золы от сжигания торфа имеет как фундаментальное, так и прикладное значение, содействуя реализации принципов устойчивого развития и циркулярной экономики.

Анализ химико-минералогического состава золы от сжигания торфа

Частью настоящей работы является изучение химического состава торфа и продуктов его термического разложения. В соответствии с литературными источниками, торф в среднем содержит углерод (50–60%), кислород (30–40%), водород (5–6,5%), азот (1–3%) и серу (0,1–2,5%) [7]. Для торфа характерна высокая влажность, достигающая в природном состоянии 88–96% по массе. В целях получения абсолютно сухого остатка, торф подвергается сушке при температуре 105 °С, в результате чего разделяется на органическую и минеральную фракции; последняя сохраняется в виде золы после сжигания [8].

Зола, остающаяся после сжигания торфа, преимущественно состоит из оксидов кальция, кремния, железа, фосфора, калия и других элементов. Содержание химических элементов в торфяной золе варьируется в широких пределах и зависит от режимов и условий торфообразования.

Химический состав золы, образующейся в котельных установках, был исследован на примере продукции предприятия ООО «ПИНДСТРУП». Полученный образец представляет собой сухой, сыпучий порошок тёмно-серого цвета, характеризующийся выраженной щелочной реакцией среды и низким содержанием тяжёлых металлов: кадмий Cd менее 0,5 мг/кг, свинец Pb 19 мг/кг, ртуть Hg менее 0,001 мг/кг, никель Ni менее 4, мг/кг, медь Cu 12,3 мг/кг, цинк Zn 17,8 мг/кг, кобальт Co менее 0,02 мг/кг (Табл.1).

Таблица 1

Химический состав золы от сжигания торфа (ООО «ПИНДСТРУП»)

<i>Наименование компонента</i>	<i>Содержание, %</i>
Вода	2,90
Органическое вещество	28,10
Магния оксид	1,35
Кальция оксид (CaO)	11,60
Натрия оксид (Na ₂ O)	0,17
Калия оксид (K ₂ O)	0,32
Сера в перерасчете на оксид серы (SO ₃)	4,00
Фосфор в перерасчете на оксид фосфора (P ₂ O ₅)	0,86
Алюминия оксид (Al ₂ O ₃)	15,50
Кремния оксид (SiO ₂)	24,6
Железа оксид	5,50
Неидентифицируемый остаток	4,2724

Кремний в составе золы представлен преимущественно в виде диоксида кремния (SiO_2). Его повышенное содержание характерно для низинных торфов, в которых оно связано с наличием песчано-глинистых включений. Также с точки зрения микроструктуры, присутствие в золе активных кремнезёмсодержащих фаз способствует формированию муллитовой структуры, обеспечивающей высокую термостойкость и устойчивость к многократным циклам замораживания–оттаивания. Кальций, как правило, присутствует в форме CaO , и его концентрация определяется влиянием грунтовых вод, особенно в областях выхода водоносных горизонтов.

Алюминий представлен в виде Al_2O_3 , концентрация которого варьирует от 0,2–0,3% в верховых и переходных торфах до 0,5% в низинных. Содержание фосфора (P_2O_5) не зависит от типа торфа и стабильно составляет десятые доли процента. Магний (MgO) в составе торфа колеблется от 0,1% до 0,3% в зависимости от типа месторождения и зольности.

Перспективы применения торфяной золы в составе керамической шихты при производстве кирпича

Одним из перспективных направлений утилизации золы является её применение в составе керамической шихты при производстве кирпича. Минералогический состав золы, обогащённый кремнезёмом и алюмосиликатами, позволяет использовать её в качестве дополнительного кремнеглиноземистого компонента. В процессе обжига при температурах 900–1050 °С зола способствует формированию жидкофазного спекания, снижая температуру обжига и улучшая микроструктуру готовых изделий.

Добавление 10–20% золы к глиняному сырью приводит к увеличению прочности на сжатие керамического кирпича на 15–20% и снижению его водопоглощения, одновременно уменьшая массу изделий и, соответственно, нагрузку на строительные конструкции.

Химический состав золы с высоким содержанием SiO_2 и Al_2O_3 способствует формированию муллитовой фазы, что значительно повышает термостойкость и морозостойкость керамических изделий [9, 10]. Наличие пористой структуры золы обеспечивает равномерное распределение микропор, способствующих улучшению теплоизоляционных характеристик. Однако повышенное содержание щелочных оксидов (K_2O , Na_2O) может вызывать образование эфлоресценций, что требует предварительного контроля и корректировки шихты.

Таким образом, проведённый комплексный анализ химического состава золы от сжигания торфа подтверждает её значительный потенциал в качестве вторичного сырьевого ресурса. Обогащённость золы кремнезёмом, алюмосиликатами, оксидами кальция и железа открывает широкие перспективы её применения в строительной отрасли [11–13] — от керамического кирпича и бетонов до активных минеральных добавок в цементных композициях [14–17]. Кроме того, её использование возможно в агротехнических и экологических технологиях.

Выводы

Проведённый анализ показал, что зола от сжигания торфа обладает значительным потенциалом в качестве вторичного сырья в строительной отрасли. Высокое содержание диоксида кремния, оксида алюминия и других ценных компонентов позволяет использовать её в составе керамической шихты для производства строительных материалов с улучшенными физико-механическими и теплоизоляционными свойствами. Результаты подтверждают возможность замещения части традиционного сырья на зольный остаток, что снижает себестоимость производства и способствует реализации принципов циркулярной экономики. Одновременно с этим подчеркивается необходимость дальнейших исследований, направленных на детальное изучение фазового состава, поведения золы в условиях термической обработки и её взаимодействия с компонентами глинистого сырья. Рациональное включение золы от сжигания торфа в промышленные технологии

представляется перспективным направлением устойчивого развития, направленного на минимизацию экологических рисков и ресурсосбережение.

В перспективе требуется проведение дополнительных исследований, направленных на изучение влияния параметров обжига на фазовое превращение золы, оптимизацию рецептурных соотношений и разработку нормативных требований к качеству золошлаковых компонентов. Также целесообразно рассмотреть возможность использования золы торфяного происхождения не только в керамическом производстве, но и в составе цементных композитов и теплоизоляционных смесей. Это позволит создать целостную систему переработки отходов энергетики в строительных материалах, обеспечив тем самым переход к замкнутым циклам производства и повышению экологической устойчивости регионов.

Список литературы

1. Кожухова Н. И., Клашников В. А., Жерновский И. В. Экологический аспект утилизации минеральных отходов промышленности в строительной отрасли // Экология и рациональное природопользование агропромышленных регионов. Сборник докладов III Международной молодежной научной конференции. Том Часть 1. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2015. С 218-219. EDN: <https://elibrary.ru/VQVFCJ>
2. Столбоушкин А. Ю. Стеновые керамические материалы матричной структуры на основе неспекающегося малопластичного техногенного и природного сырья. Дисс. докт. техн. наук. Новосибирск. 2014. 365 с. EDN: <https://elibrary.ru/RHGTEN>
3. Павлов В. Ф. Способ вовлечения в производство строительных материалов промышленных отходов // Строительные материалы. 2003. № 8. С. 28–30. EDN: <https://elibrary.ru/IBEJXT>
4. La Rubia-García M. D., Yebra-Rodríguez Á., Eliche-Quesada D., Corpas-Iglesias F. A., López-Galindo A. Assessment of olive mill solid residue (pomace) as an additive in lightweight brick production // Construction and Building Materials. 2012. V. 36. P. 395–500. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2012.06.009>
5. de la Casa J.A., Castro E. Recycling of washed olive pomace ash for fired clay brick manufacturing // Construction and Building Materials. 2014. V. 61. P. 320–326. <https://doi.org/10.1007/s12633-021-01279-x>
6. Mymrin V. et. al. Red clay application in the utilization of paper production sludge and scrap glass to fabricate ceramic materials / V. Mymrin, W. Klitzke, K. Alekseev, R. E. Catai, A. Nagalli, R. L. dos Santos Izzo, C. A. Romano // Applied Clay Science. 2015. V. 107. P. 28–35. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2015.01.031>
7. Тюрменов С. Н. Химический состав торфа // Торфяные месторождения, 1976. URL: <https://www.activestudy.info/ximicheskij-sostav-torfa/> Зооинженерный факультет МСХА. (Дата обращения 20.04.2025 г.).
8. Лиштван И. И. Коллоидная химия и физико-химическая механика торфа: история развития и современные направления исследований // Природопользование. 2012. № 22. С. 47-56. EDN: <https://elibrary.ru/CPKSCN>
9. Куликов А. Н., Смирнова Т. В. Химия торфа. СПб.: Недра, 2018.
10. Карташёв С. А. Зольность и термохимия торфяных топлив. Москва: Энергия, 2019.
11. Соловьева В.Я., Козин П.А., Степанова И.В., Смирнова Т.В. Высокопрочные бетоны повышенной долговечности, модифицированные нанополимерной добавкой // Естественные и технические науки. 2014. № 2 (70). С. 296-298. EDN: <https://elibrary.ru/SBHZXP>
12. Solovieva V., Stepanova I., Soloviev D., Yorshikov N. Increasing the level of properties of composite materials for civil engineering geoconstruction with the use of new generation additives // Transportation Soil Engineering in Cold Regions, Volume 2. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 50. 2020. Springer, Singapore. С. 387-393. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0454-9_40

13. Solovieva V., Stepanova I., Soloviev D. High-strength concrete with improved deformation characteristics for road surfaces Transportation Soil Engineering in Cold Regions, Volume 2. Proceedings of TRANSOILCOLD 2019. Springer Nature, 2020. C. 339-345. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0454-9_35
14. Solovieva V., Stepanova I., Soloviev D., Kasatkina A. A high-performance repair mixture to restore and protect damaged concrete structures. // Transportation Soil Engineering in Cold Regions, Volume 2. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 50. 2020. Springer, Singapore. C. 369-375. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0454-9_38
15. Temnev V., Abu-Khasan M., Charnik D., Kuprava L., Egorov V. The mesh of shells of a bionic type to be operated in extreme habitats. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Science and Technology Conference "FarEastCon 2019". 2020. C. 022023. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/753/2/022023>
16. Абу-Хасан М. С., Егоров В. В., Куправа Л. Р. Соединения деревянных конструкций на основе композитных материалов // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2018. № 12 (1012). С. 46-47. EDN: <https://elibrary.ru/vnbpqx>
17. Егоров В. В., Абу-Хасан М. С., Розанцева Н. В., Куправа Л. Р. Несущие деревометаллические конструкции ферм покрытия большепролетных железнодорожных депо // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2018. № 8 (1008). С. 37-38. EDN: <https://elibrary.ru/xwpwpj>

References

1. Kozhukhova N. I., Klasnikova V. A., Zernovsky I. V. Environmental Aspects of Mineral Waste Utilization in the Construction Industry // Ecology and Sustainable Natural Resource Management in Agro-Industrial Regions. Proceedings of the III International Youth Scientific Conference. Volume 1. Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov. 2015. Pp. 218-219. EDN: <https://elibrary.ru/VQVFCJ>
2. Stolboushkin A. Y. Wall ceramic materials of matrix structure based on non-spreading low-plastic man-made and natural raw materials. Diss. doct. Technical sciences. Novosibirsk. - 2014. - 365 p. EDN: <https://elibrary.ru/RHGTEN>
3. Pavlov V. F. A method for incorporating industrial waste into the production of building materials // Construction Materials. - 2003. - No. 8. - Pp. 28-30. EDN: <https://elibrary.ru/IBEJXT>
4. La Rubia-García M. D., Yebra-Rodríguez Á., Eliche-Quesada D., Corpas-Iglesias F. A., López-Galindo A. Assessment of olive mill solid residue (pomace) as an additive in lightweight brick production // Construction and Building Materials. - 2012. - V. 36. - Pp. 395-500. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2012.06.009>
5. de la Casa J.A., Castro E. Recycling of washed olive pomace ash fired clay brick manufacturing // Construction and Building Materials. - 2014. - V. 61. - Pp. 320-326. <https://doi.org/10.1007/s12633-021-01279-x>
6. Mymrin V., Klitzke W., Alekseev K., Catai R. E., Nagalli A., dos SantosIzzo R. L., Romano C. A. Red clay application in the utilization of paper production sludge and scrap glass to fabricate ceramic materials // Applied Clay Science. - 2015. - V. 107. - P. 28-35. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2015.01.031>
7. Tyuremnov S. N. Chemical composition of peat // Peat deposits, 1976. URL: <https://www.activestudy.info/ximicheskij-sostav-torfa/> Zooengineering faculty of Moscow Agricultural Academy.
8. Lishtvan I. I. Colloid Chemistry and Physical and Chemical Mechanics of Peat: History of Development and Current Research Directions // Nature Management. 2012. No. 22. Pp. 47-56. EDN: <https://elibrary.ru/CPKSCN>
9. Kulikov A. N., Smirnova T. V. Peat Chemistry. — St. Petersburg: Nedra, 2018.
10. Kartashev S. A. Ash content and thermochemistry of peat fuels. — Moscow: Energiya, 2019.
11. Solovyova V.Ya., Kozin P.A., Stepanova I.V., Smirnova T.V. High-Strength Concretes of Increased Durability Modified with a Nanopolymer Additive // Natural and Technical Sciences. 2014. No. 2 (70). Pp. 296-298. EDN: <https://elibrary.ru/SBHZXP>

12. Solovieva V., Stepanova I., Soloviev D., Yorshikov N. Increasing the level of properties of composite materials for civil engineering geoconstruction with the use of new generation additives // Transportation Soil Engineering in Cold Regions, Volume 2. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 50. 2020. Springer, Singapore. Pp. 387-393. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0454-9_40
13. Solovieva V., Stepanova I., Soloviev D., Kasatkina A. A high-performance repair mixture to restore and protect damaged concrete structures. // Transportation Soil Engineering in Cold Regions, Volume 2. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 50. 2020. Springer, Singapore. 339-345. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0454-9_35
14. Solovieva V., Stepanova I., Soloviev D., Kasatkina A. A high-performance repair mixture to restore and protect damaged concrete structures. // Transportation Soil Engineering in Cold Regions, Volume 2. Proceedings of TRANSOILCOLD 2019. Springer Nature, 2020. 369-375. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0454-9_38
15. Temnev V., Abu-Khasan M., Charnik D., Kuprava L., Egorov V. The mesh of shells of a bionic type to be operated in extreme habitats. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Science and Technology Conference "FarEastCon 2019". 2020. 022023. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/753/2/022023>
16. Abu-Hasan M. S., Egorov V. V., Kuprava L. R. Connections of wooden structures based on composite materials // BST: Bulletin of Construction Technology. 2018. No. 12 (1012). Pp. 46-47. EDN: <https://elibrary.ru/vnbpxq>
17. Egorov V. V., Abu-Khasan M. S., Rozantseva N. V., Kuprava L. R. Load-bearing wood-and-metal structures of the roof trusses of large-span railway depots // BST: Bulletin of Construction Technology. 2018. No. 8 (1008). Pp. 37-38. EDN: <https://elibrary.ru/xwpwpj>