

УДК 628.336.6

DOI 10.22213/2410-9304-2023-4-25-30

Результаты исследований по применению осадков городских сточных вод в производстве строительных материалов

М. В. Паршикова, кандидат технических наук, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

Е. Л. Лагутина, соискатель, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

Г. И. Яковлев, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

А. Ф. Гордина, кандидат технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

И. Е. Лагутин, студент, Удмуртский государственный аграрный университет, Ижевск, Россия

В исследовании представлены результаты экспериментов по использованию золы, полученной в результате сжигания осадков коммунальных сточных вод водоканала города Ижевска Удмуртской Республики, в производстве строительных материалов. Приведены методики исследования и отражены результаты испытаний образцов строительных материалов на прочность. Выполнена оценка воздействия изготовленных образцов строительных материалов на экологию окружающего пространства и здоровье человека. Для достижения поставленных целей исследования использован лабораторный эксперимент и определение показателей исследуемых величин осадка, золы, водных вытяжек с применением устройств и средств измерений. На базе научно-исследовательской лаборатории ИжГТУ и водоканала Удмуртской Республики проводились экспериментальные исследования по сжиганию осадка сточных вод и использованию полученной золы как замещающего или модифицирующего компонента строительной смеси при изготовлении экспериментальных образцов керамики, цементно-песчаного раствора, бетона. Представлена методика изготовления и алгоритм испытания керамических (обжиговых) образцов и образцов на основе цемента (безобжиговых). Используются измерительные средства по определению показателей интенсивности гамма-излучения золы, цемента и их влияние на здоровье человека. Представлен алгоритм экспериментальных исследований, применяемые энергоэффективные методики, используемые при проведении опыта, и аналитический анализ полученных результатов эксперимента. Представлен анализ результатов экспериментальных исследований по испытанию керамических изделий и изделий на основе цемента, а также анализ радиационной безопасности, миграции тяжелых металлов. Рассмотрена энергоэффективная методика утилизации осадков сточных вод и дальнейшие пути применения золы в качестве экологического и ресурсосберегающего компонента, применяемого при изготовлении экспериментальных строительных материалов.

Ключевые слова: осадок сточных вод, очистные сооружения, строительные материалы, энергоэффективность, тяжелые металлы, зола, экспериментальные исследования.

Введение

При работе коммунальных очистных сооружений поселений непрерывно выделяются иловые осадки.

Высокая доля органических веществ в осадках городских сточных вод придает им горючесть, что обуславливает необходимость исследования их энергоэффективных свойств и возможность дальнейшего использования при изготовлении строительных материалов [1, 2].

На начальном этапе научно-исследовательской работы на базе лаборатории ИжГТУ и очистных сооружений водоканала города Ижевска был проведен эксперимент по сжиганию осадка, который подтвердил его горючие свойства. Полученный в ходе эксперимента продукт – зола – сыпучий порошок. В ее составе, кроме природных компонентов (окислов кремния, алюминия, кальция, фосфора и др.), содержатся техногенные примеси в виде окислов тяжелых металлов.

В ГОСТ Р 59748–2021 предусмотрено использование осадков в качестве сырья для производства цемента. Продукт сжигания осадка (золу) рекомендуется добавлять в строительные смеси. Зола является отличным заменителем кварцевого песка, цемента.

Цель исследования – установить влияние золы от сжигания коммунального осадка на свойства обжиговых и безобжиговых строительных материалов и повышение энергоэффективности процесса обработки осадка сточных вод.

Используемые подходы к методике выполнения научно-исследовательских работ по сжиганию осадков для производства строительных материалов

Для повышения санитарно-экологических свойств коммунальных осадков применяется механическое обезвоживание с использованием ленточных или камерных фильтр-прессов, центрифуг, для стабилизации осадка могут применяться ментантки [3].

В соответствии с ГОСТ Р 59748–2021 обработанные обезвоженные и стабилизированные осадки могут быть отнесены к побочной продукции и использоваться как сырье для почвенной утилизации или в материаловедении [4, 5].

На рис. 1 представлена диаграмма способов переработки коммунальных осадков, применяемых в странах Европы [6].

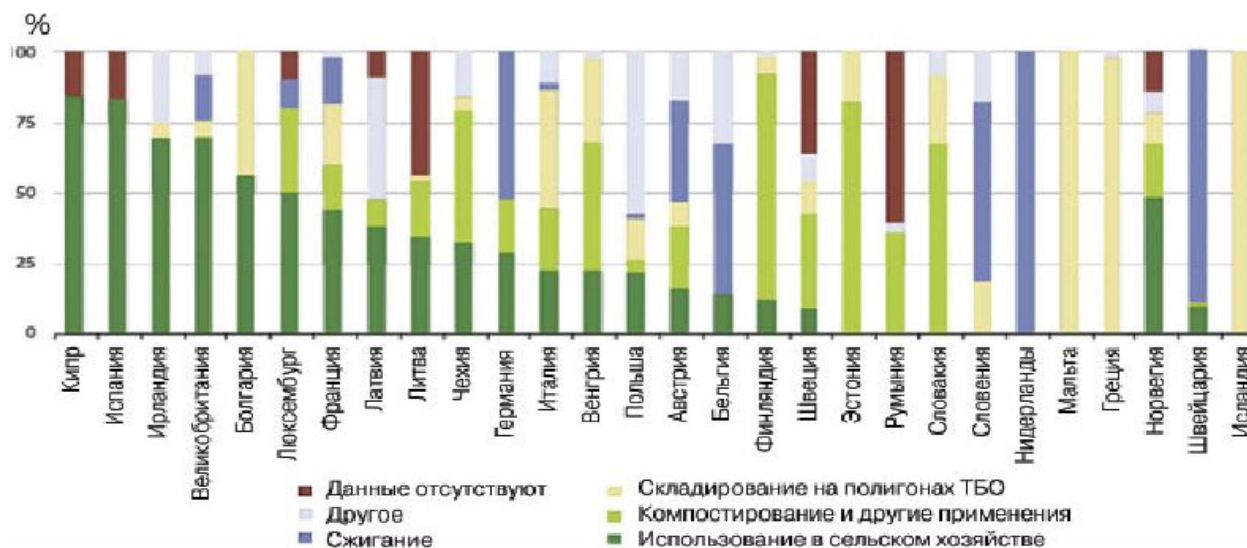


Рис. 1. Методы переработки коммунальных осадков, применяемые в странах Европы

Fig. 1. Methods of municipal sewage sludge utilization, used in European countries

Согласно диаграмме методы почвенной утилизации в большей степени распространены в южных странах – Кипр, Испания. В странах с прохладной или холодной зимой (Швейцария, Нидерланды, Словения Бельгия, Германия, Австрия) широко применяется термический метод. В Нидерландах весь осадок городских очистных сооружений (100 %) сжигается.

В России первые заводы по обработке и сжиганию осадка сточных вод построены в Санкт-Петербурге [7, 8] в 1997 году, два других введены в эксплуатацию в 2007 году. С этого момента в Петербурге сжигается 100 % осадка сточных вод. С 2010 года установка термической сушки осадка применяется на городских очистных сооружениях Уфы.

Состав золы осадка сточных вод сильно варьируется в зависимости от его исходного состава и спо-

соба сжигания. Зола представляет собой хорошо сыпучий и пылящий порошок, в котором окислы тяжелых металлов присутствуют в более мелкой и подвижной фракции [9, 10]. Зола представляет собой высокодисперсный продукт со сравнительно более низким значением средней плотности, чем у обычного кварцевого песка, что предопределяет возможность ее использования в качестве его замены.

Материалы и методы. Методика изготовления строительных материалов

Зола вводилась в строительные смеси в концентрациях от 5 до 20 % для определения влияния на их физико-механические свойства [11, 12]. Изготавливались образцы материалов (рис. 2):

- керамики (2×2 см),
- цементно-песчаных растворов (балки 4×4×16 см),
- тяжелого бетона (образцы 7×7 см).



Рис. 2. Готовые образцы строительных материалов

Fig. 2. Prefabricated samples of building materials

Для определения оптимальной концентрации золы готовые образцы были испытаны на прочность и изгиб с определением пределов прочности на сжатие ($R_{сж}$, МПа) и изгиб ($R_{изг}$, МПа – для цементно-песчаных растворов). По результатам испытаний определены оптимальные соотношения компонентов строительных материалов. Экспериментальные ис-

следования и испытания образцов проводились согласно соответствующим методикам [13, 14].

Основной раздел. Изготовление и испытание керамических образцов

Для изготовления и испытания образцов использовались методические указания и нормативная литература.

Образцы керамики изготавливались в следующей последовательности: в состав глины добавляли золу, из сырьевой массы формовали образцы-кубы с ребром 2 см и помещали в печь последовательно для нагрева при 100 °С и после распалубки



Рис. 3. Образцы керамики после сушки и после обжига в муфельной печи

Fig. 3. Ceramic brick samples after drying and after firing in a muffle kiln

(при комнатной температуре) – для обжига при 1100 °С [15].

Керамические образцы после сушки и после обжига показаны на рис. 3.



Полученные после обжига образцы керамического материала были испытаны на гидравлическом прессе для определения физико-механических характеристик, как показано на рис. 4.



Рис. 4. Испытание образца керамического материала на гидравлическом прессе

Fig. 4. Testing a sample of ceramic material on a hydraulic press

Изготовление и испытание образцов на основе цемента

Цементно-песчаные растворы (по 2 шт.) готовились в виде продольных балок с размерами 4×4×16 см в соответствии с методикой [16] из следующих компонентов:

1) контрольные образцы (2 шт.) – портландцемент (ЦЕМ I 32,5 Н) + кварцевый песок в соотношении 1:3,

2) портландцемент (ЦЕМ I 32,5 Н) + зола (как модифицирующая добавка к цементу) + кварцевый песок.

Изготовленные образцы цементно-песчаных растворов в виде продольных балок перед затвердеванием показаны на рис. 5.

Через семь суток твердения проведены замеры массы и размеров образцов, а также испытания прочностных характеристик на гидравлическом прессе – определены пределы прочности на сжатие, на изгиб, МПа.

Испытания образцов на безопасность

Безопасность образцов оценивалась по радиологическим показателям и степени подвижности тяжелых металлов в их составе. В первом случае использовался портативный прибор для измерения интенсивности гамма-излучения. Во втором – водные вытяжки из сколов образцов через 30 суток выдержки в дистиллированной воде и в буферно-ацетатном растворе с величиной рН дождя крупных городов (в том числе Ижевска).

Исследования водных вытяжек проводились в лаборатории водоканала города Ижевска с использованием атомно-абсорбционного спектрометра – на содержание нормируемых для водных объектов растворимых форм металлов.



Рис. 5. Цементно-песчаные балки перед затвердеванием

Fig. 5. Cement-sand beams prior to curing

Результаты испытаний керамических изделий

Увеличение концентрации золы в составе глиняной массы способствовало уменьшению огневой усадки, росту прочности образца керамики, как представлено на рис. 6. В период проведения исследований

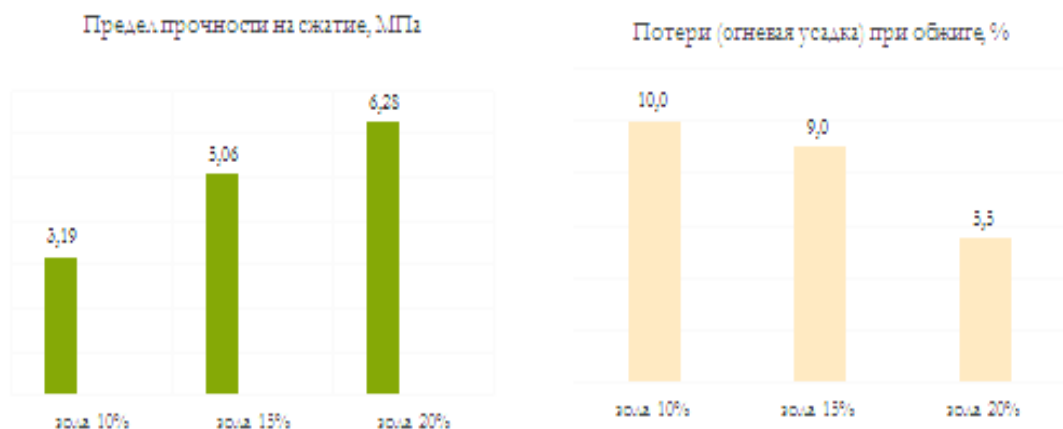


Рис. 6. Результаты испытаний керамических образцов

Fig. 6. Test results for ceramic samples

Результаты испытаний безобжиговых изделий

Максимальный предел прочности на сжатие образцов цементно-песчаных растворов и бетона достигнут при концентрации золы 12 %. Данные результатов испытаний представлены на рис. 7. Снижение прочностных показателей при увеличении концентрации золы, вероятно, обусловлено тем, что частицы золы выступают в качестве инертного наполнителя.



Рис. 7. Результаты испытаний образцов цементно-песчаных растворов и бетона

Fig. 7. Test results for cement-sand mortar and concrete samples

Анализ результатов испытаний на энергетическую безопасность

Исследование по энергетической безопасности образцов строительных материалов проводилось согласно нормативной документации и в соответствии с аккредитованными методиками. Полученные результаты совпадают с достигнутыми показателями золы из осадков сточных вод водоканала города Санкт-Петербурга. Энергобезопасность предприятий позволяет повысить экономическую эффективность водоканалов и предприятий АПК, строительной отрасли в Удмуртской Республике. Взаимосвязь беспре-

обойности и надежности энергии предприятий обеспечивает энергоэффективность водоканалов и предприятий строительной отрасли в Удмуртской Республике. Потребление энергии является одним из основных факторов экономически стабильного развития водоканалов и предприятий АПК и ЖКХ в Удмуртской Республике в условиях современного развития строительной отрасли [18, 19].

Анализ результатов радиационной безопасности. Миграция тяжелых металлов

По результатам проведения исследований, интенсивность гамма-излучения золы, цемента, глины и готовых образцов строительных материалов составила 0,08–0,09 мкЗв/ч, норматив составляет 0,1–0,2 мкЗв/ч, данные не превышают радиационного фона окружающего пространства [20, 21].

Содержание металлов в водных вытяжках из сколов экспериментальных обжиговых и безобжиговых изделий через 30 суток экспозиции в нейтральной и кислой среде не превысило предельно-допустимых концентраций для воды водных объектов, что является показателем отсутствия миграции токсичных веществ в окружающую среду.

Выводы

1. В результате проведения экспериментальных исследований изготовлены образцы строительных материалов с применением золы, которые прошли испытание на прочность, огневую усадку и безопасность.

2. По результатам исследований определены оптимальные концентрации золы для введения в строительные смеси: 20 % для керамических образцов и 12 % для материалов, получаемых без обжига, – цементно-песчаные растворы, бетон.

3. Экспериментальные образцы, полученные в результате опыта, характеризующиеся пределами прочности на сжатие 6,28 МПа (кирпич), 25,1 МПа

(цемент, бетон), сопоставимы с традиционными керамическими и цементными изделиями.

4. Тяжелые металлы, входящие в состав золы, в сочетании с глиной или цементом образуют устойчивые соединения, что препятствует их миграции в окружающее пространство как при нормальной эксплуатации, так и при разрушении строительных конструкций; уровень гамма-излучения сырьевых материалов, включая техногенный продукт (золу), и готовых образцов составляет 0,08–0,09 мкЗв/ч, данный показатель не превышает нормативных значений 0,1–0,2 мкЗв/ч и соответствует значениям окружающего пространства, что в совокупности обеспечивает безопасность строительных материалов.

5. Применение энерго- и ресурсосберегающих технологий по утилизации осадков сточных вод позволят обеспечить водоканалам Удмуртской Республики, предприятия АПК и строительной отрасли необходимыми экологически чистыми строительными материалами.

Библиографические ссылки

1. Безбородова О. Е. Комплексная утилизация сточных вод предприятий : дисс. ... канд. техн. наук. М. : LAP Lambert Academic Publishing, 2019. 124 с.
2. Благодарумова А. М. Обработка и обезвоживание осадков городских сточных вод : учеб. пособие. М. : Лань, 2020.
3. Борисов Б. Н., Рыбаков В. А. Использование газа метантенков // Приднепровский научный вестник. 2017. № 3. С. 37–41.
4. Васильев Ф. А., Таханов М. П. Создание возмущений в метантенке // Вестник ИрГСХА. 2017. № 80. С. 143–148.
5. Волкова А. А., Шшикунов В. Г. Системный анализ и моделирование процессов в техносфере : учеб. пособие. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2019. 244 с.
6. Воронов Ю. В., Яковлев С. В. Водоотведение и очистка сточных вод : учебник для вузов. М. : Ассоциация строительных вузов, 2006. 704 с.
7. Григорьев В. С., Ковалев А. А. Система предварительной подготовки субстратов метантенков в аппарате вихревого слоя с рекуперацией теплоты // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2020. № 2 (39). С. 8–13.
8. Диденко В. Н., Исаев А. В., Узиков Н. Д. Метод сравнительной оценки тепловых потерь биореакторов на этапе аванпроекта биогазовой установки // Энергосбережение и водоподготовка. 2019. № 5 (121). С. 61–65.
9. Караева Ю. В., Варламова И. А. Эффективность гидравлического перемешивания в метантенке с перегородками // Энергосбережение и водоподготовка. 2017. № 1 (105). С. 27–32.
10. Колосова Н. В., Монох С. И. Математическая модель теплообмена при получении биогаза в метантенке // Современное промышленное и гражданское строительство. 2019. № 2. С. 67–74.
11. Копылов А. С., Лавыгин В. М., Очков В. Ф. Водоподготовка в энергетике : учеб. пособие. М. : Изд. дом МЭИ, 2016. 310 с.
12. Лурье Ю. Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод : учеб. пособие. М. : Медиа, 2017.
13. Оковитая К. О. Повышение эффективности работы метантенков // Эффективные технологии в области водоподготовки и очистки в системах водоснабжения и водоотведения. 2021. № 1. С. 54–56.
14. Провоторова А. А. Сравнительный анализ использования аэротенков и метантенков при очистке сточных вод // Современная наука и ее ресурсное обеспечение: Инновационная парадигма : сборник статей по материалам VI Международной научно-практической конференции. 2021. С. 97–102.
15. Смирнова А. Р. Пути повышения эффективности работы метантенков // Научный форум: технические и физико-математические науки : сборник статей по материалам XXXI Международной научно-практической конференции. 2020. С. 23–30.
16. Томалла М., Нойберт И. Низкотемпературная сушка осадка сточных вод // Экология производства. 2007. № 4. С. 75–79.
17. Туровский И. С. Обработка осадка сточных вод. М. : Стройиздат, 1988. 256 с.
18. Ханова Е. Л., Сахарова А. А., Герасценко А. А. Способ интенсификации работы метантенков с разделением фаз брожения // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. № 1 (74). С. 72–79.
19. Цыбина А. В., Дьяков М. С., Вайсман Я. И. Состояние и перспективы обработки и утилизации осадков сточных вод // Экология и промышленность России. 2013. № 12. С. 56–61.
20. Юхин Д. П. К вопросу повышения эффективности функционирования метантенка биогазовой установки // Наука молодых – инновационному развитию АПК : материалы XII национальной научно-практической конференции молодых ученых. 2019. С. 168–172.
21. Юмина В. А., Зелиг М. П. Испытания керамического кирпича : методические указания к выполнению лабораторных, практических и самостоятельных работ. Тюмень : Тюменский государственный архитектурно-строительный университет, 2014. 18 с.

References

1. Bezborodova O.E. *Kompleksnaya utilizatsiya stochnykh vod predpriyatii* [Complex utilization of waste water of enterprises]: PhD thesis. Moscow: LAP Lambert Academic Publishing, 2019. 124 p. (in Russ.).
2. Razdorazumova A.M. *Obrabotka i obezvozhivanie osadkov gorodskikh stochnykh vod* [Treatment and dewatering of urban sewage sludge]: textbook. manual. Moscow, Lan, 2020 (in Russ.).
3. Borisov B.N., Rybakov V.A. [The use of metantankov gas]. Pridneprovsky scientific Bulletin. 2017. No. 3. Pp. 37-41 (in Russ.).
4. Vasilyev F.A., Taganov M.P. [Create disturbances in the digester]. Bulletin of the ISAA. 2017. No. 80. Pp. 143-148 (in Russ.).
5. Volkova A.A., Shishkunov V.G. *Sistemnyi analiz i modelirovanie protsessov v tekhnosfere* [System analysis and modeling of processes in the technosphere]: textbook. Ekaterinburg: Izd-v. Ural. unta, 2019. 244 c. (in Russ.).
6. Voronov Yu.V., Yakovlev S.V. *Vodootvedenie i ochistka stochnykh vod* [Water drainage and wastewater treatment]: textbook for universities. Moscow: Association of Construction Universities. 2006. 704 c. (in Russ.).
7. Grigoriev S.V., Kovalev A.A. [System of preliminary preparation of substrates in the digester apparatus vortex layer with recuperation]. Electrotechnology and electrical equipment in agriculture. 2020. No. 2. Pp. 8-13 (in Russ.).
8. Didenko V.N., Isaev A.V., Uzakov N.D. [Method of comparative assessment of heat losses of bioreactors at the stage of an advance project of a biogas plant]. Scientific and Technical journal "Energy saving and water treatment". 2019. No. 5. Pp. 61-65 (in Russ.).
9. Karayev Y.V., Varlamova I.A. [Efficiency of hydraulic mixing in the digester walls]. Energy saving and water treatment. 2017. No. 1. Pp. 27-32 (in Russ.).
10. Kolosova N.V., Monk S.I. [Mathematical model of heat and mass transfer in the production of biogas in a methane tank]. Modern industrial and civil construction. 2019. No. 2. Pp. 67-74 (in Russ.).

11. Kopylov A.S, Lavigin. V.M., Ochkov V.F. *Vodopodgotovka v energetike* [Water treatment in power engineering]: textbook. Moscow: MPEI Publishing House, 2016. 310 p. (in Russ.).
12. Lurie Yu. Yu. *Analiticheskaya khimiya promyshlennykh stochnykh vod* [Analytical chemistry of industrial wastewater]: textbook. Moscow, Media, 2017 (in Russ.).
13. Okovitya K.O. [Improving the efficiency of metantankov]. Effective technologies in the field of water treatment and purification in water supply and sanitation systems. 2021. No. 1. Pp. 54-56 (in Russ.).
14. Provotorova A.A. *Sravnitel'nyi analiz ispol'zovaniya aerotankov i metantankov pri ochestke stochnykh vod* [Comparative analysis of the use of aerotanks and methane tanks in wastewater treatment]. *Sovremennaya nauka i ee resursnoe obespechenie: Innovatsionnaya paradigma* [Proc. Modern science and its resource support: An innovative paradigm. Collection of articles based on the materials of the VI International Scientific and Practical Conference]. 2021. Pp. 97-102 (in Russ.).
15. Smirnova A.R. *Puti povysheniya effektivnosti raboty metantankov* [Ways to improve the efficiency of metantankov]. *Nauchnyi forum: tekhnicheskie i fiziko-matematicheskie nauki : sbornik statei po materialam XXXI Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Proc. Scientific Forum: technical and physical-mathematical sciences. Collection of articles based on the materials of the XXXI International Scientific and Practical Conference]. 2020. Pp. 23-30 (in Russ.).
16. Thomalla M., Neubert I. [Low temperature drying of sewage sludge]. *Production Ecology*. 2007. No. 4. Pp. 75-79 (in Russ.).
17. Turovsky I.S. *Obrabotka osadka stochnykh vod* [Sewage sludge treatment]. Moscow: Stroyizdat, 1988. 256 c. (in Russ.).
18. Khanova E.L., Sakharova A.A., Gerashchenko A.A. [Method of intensification of the work of methane tanks with separation of fermentation phases]. *Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture*. 2019. No. 1. Pp. 72-79 (in Russ.).
19. Tsybina A.V., Dyakov M.S., Weissman Y.I. [State and prospects of sewage sludge treatment and utilization]. *Ecology and Industry of Russia*. 2013. No. 12. Pp. 56-61 (in Russ.).
20. Yukhin D.P. *K voprosu povysheniya effektivnosti funktsionirovaniya metantanka biogazovoi ustanovki* [On the issue of improving the efficiency of the functioning of the biogas plant's methane tank]. *Nauka molodykh – innovatsionnomu razvitiyu APK : materialy XII natsional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii molodykh uchenykh* [Proc. Nauka molodykh - innovative development of the agroindustrial complex. Materials of the XII National Scientific and Practical Conference of young scientists]. 2019. Pp.168-172 (in Russ.).
21. Yumina V.A., Zelig M.P. *Ispytaniya keramicheskogo kirpicha* [Testing of ceramic bricks]. *Methodological guidelines for laboratory, practical and independent work Tyumen: FSBE HPE "Tyumen State University of Architecture and Civil Engineering"*. 2014. 18 p. (in Russ.).

* * *

Research Results of Municipal Sewage Sludge Applied for Building Material Production

M. V. Parshikova, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov Izhevsk State University, Izhevsk, Russia

E. L. Lagutina, PhD Candidate, Kalashnikov Izhevsk State University, Izhevsk, Russia

G. I. Yakovlev, Doctor of Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State University, Izhevsk, Russia

A. F. Gordina, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov Izhevsk State University, Izhevsk, Russia

I. E. Lagutin, Student, Udmurt State Agricultural University, Izhevsk, Russia

The study presents the experimental results on the use of ash obtained as a result of incineration of municipal sewage sludge from the water utility of Izhevsk, Udmurt Republic, for construction material production. Research methods are given and the results of strength tests of building material samples are given. The impact of the manufactured samples of construction materials on the ecology of the surrounding space and human health is assessed. To achieve the set objectives of the research laboratory experiment and determination of indicators of investigated values of sludge, ash and water extracts with the use of devices and measuring instruments are used. On the basis of the research laboratories of Kalashnikov Izhevsk State Technical University and MUE "IzhVodokanal" of the Udmurt Republic experimental studies on incineration of sewage sludge and the use of the resulting ash as a substituting or modifying component of the construction mixture in the manufacture of experimental samples of ceramics, cement-sand mortar and concrete were carried out. Methodology of manufacturing and algorithm of ceramic (fired) and cement-based (nonfired) testing specimens are presented. Measuring means for determination of gamma-radiation intensity indices of ash, cement and their influence on human health are used.

The algorithm of experimental research, applied energy-efficient techniques used in the experiment and analysis of the obtained experimental results are presented. The analysis of experimental research results of ceramic and cement-based products, as well as the analysis of radiation safety, migration of heavy metals is presented. The energy-efficient methodology of sewage sludge utilization and further ways of applying ash as an environmental and resource-saving component used in manufacturing of experimental building materials are considered.

Keywords: sewage sludge, waste-water treatment plants, building materials, energy efficiency, heavy metals, ash, experimental studies.

Получено: 06.10.23

Образец цитирования

Результаты исследований по применению осадков городских сточных вод в производстве строительных материалов / М. В. Паршикова, Е. Л. Лагутина, Г. И. Яковлев, А. Ф. Гордина, И. Е. Лагутин // Интеллектуальные системы в производстве. 2023. Т. 21, № 4. С. 25–30. DOI: 10.22213/2410-9304-2023-4-25-30.

For Citation

Parshikova M.V., Lagutina E.L., Yakovlev G.I., Gordina A.F., Lagutin I.E. [Research Results of Municipal Sewage Sludge Applied for Building Material Production]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*. 2023, vol. 21, no. 4, pp. 25-30 (in Russ.). DOI: 10.22213/2410-9304-2023-4-25-30.