

Результаты экспериментальных исследований электрогидроимпульсного дробления железобетонных отходов из демонтированных опор контактной сети

А.В. Юрьев¹, А.Е. Гаранин¹✉, Д.А. Юрьева², К.П. Ремянников³, Д.П. Миллер¹,
А.И. Малькова⁴, А.В. Сергиенко⁵

¹Красноярский институт железнодорожного транспорта – филиал Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Красноярск, Российская Федерация

²ООО «РЦ «АСКОН-Енисей», г. Красноярск, Российская Федерация

³Красноярский региональный инновационно-технологический бизнес-инкубатор, г. Красноярск, Российская Федерация

⁴Кошурниковская дистанция сигнализации, централизации и блокировки – структурное подразделение Красноярской дирекции инфраструктуры – структурного подразделения Центральной дирекции инфраструктуры – филиала ОАО «РЖД», пос. Кошурниково, Российская Федерация

⁵Школа космонавтики, г. Железногорск, Российская Федерация

✉alexandergaranin@mail.ru

Резюме

Для вовлечения во вторичный оборот отходов V класса опасности, образуемых после демонтажа железобетонных конструкций инфраструктуры железнодорожного транспорта (опор контактной сети), распределенных географически на значительных расстояниях, предлагается выявить наилучшую доступную «зеленую технологию» утилизации, обладающую высокими технико-экономическими, эксплуатационными и санитарно-гигиеническими параметрами, позволяющую получать вторсырье непосредственно вблизи от мест образования и скопления отходов, что позволит исключить их дорогостоящее транспортирование, переработку и захоронение. Проведены экспериментальные исследования электрогидроимпульсного способа разрушения демонтированных опор контактной сети из центрифугированного железобетона класса прочности В40. Испытания проводились на разработанном экспериментальном образце комплекса дробления, основные конструктивные и технико-эксплуатационные параметры которого заключаются в высокой мобильности, компактности, малом весе, низком энергопотреблении, работе без образования пыли, высоком качестве получаемого вторсырья, простоте управления, обслуживания и транспортирования. Исследования электрогидроимпульсного способа разрушения показали высокие технико-эксплуатационные и экономические показатели, что в перспективе дает возможность реализовать технологию рециклинга железобетонных отходов во вторсырье, соответствующую критериям наилучшей доступной технологии в природоохранной деятельности. Развитие предложенной технологии до уровня опытно-промышленной эксплуатации в структурных подразделениях элетроэнергетического комплекса железнодорожного транспорта позволит достичь как целевого показателя Долгосрочной программы развития ОАО «РЖД» до 2025 г. по повышению уровня экологической безопасности в части увеличения доли обезвреживания и вовлечения отходов производства и потребления во вторичный оборот в общем количестве их образования, так и ускорит обеспечение технологического суверенитета России.

Ключевые слова

отходы железобетонного лома, зеленые технологии утилизации, электрогидроимпульсная технология дробления, ресурсосбережение, энергоэффективность

Для цитирования

Результаты экспериментальных исследований электрогидроимпульсного дробления отходов из демонтированных опор контактной сети / А.В. Юрьев, А.Е. Гаранин, Д.А. Юрьева, К.П. Ремянников, Д.П. Миллер, А.И. Малькова, А.В. Сергиенко // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2022. № 4 (76). С. 101–108. DOI 10.26731/1813-9108.2022.4(76).101-108.

Информация о статье

поступила в редакцию: 20.10.2022 г.; поступила после рецензирования: 23.12.2022 г.; принята к публикации 26.12.2022 г.

Благодарность

Работа выполнена по гранту ОАО «РЖД» от 10 декабря 2019 г. № 3705143 для молодых ученых на проведение научных исследований, направленных на создание новой техники и технологий для применения на железнодорожном транспорте «Разработка технологии электрогидроимпульсной утилизации отходов железобетонного лома от демонтированных опор контактной сети и железнодорожных шпал для извлечения качественного вторсырья и производство экспериментально-го образца аппарата электрогидроимпульсного дробления отходов лома железобетона».

Results of experimental investigation of the electrohydroimpulse method for crushing reinforced concrete scrap waste from dismantled contact network supports of railway overhead line

A.V. Yur'ev¹, A.E. Garanin¹✉, D.A. Yur'eva², K.P. Remyannikov³, D.P. Miller¹,
A.I. Mal'kova⁴, A.V. Sergienko⁵

¹Krasnoyarsk Rail Transport Institute, a branch of Irkutsk State Transport University, Krasnoyarsk, the Russian Federation

²«LCC «RC «ASCON-Enisey», Krasnoyarsk, the Russian Federation

³Krasnoyarsk Regional Innovation and Technology Business Incubator, Krasnoyarsk, the Russian Federation

⁴Koshurnikovskaya signaling, centralization and blocking distance – a structural subdivision of the Krasnoyarsk Directorate of Infrastructure – a structural subdivision of the Central Directorate of Infrastructure – a branch of JSC «Russian Railways», Koshurnikovo, the Russian Federation

⁵Cosmonautics School, Zheleznogorsk, the Russian Federation

✉alexandergaranin@mail.ru

Abstract

To involve the reinforced concrete V class hazard waste generated after dismantling reinforced concrete posts for railway infrastructure (overhead line posts) geographically distributed over considerable distances it is proposed to identify the best available «green technology» for recycling having high technical, economic, operational and sanitary parameters and allowing to obtain recyclable materials close to the places of waste generation and accumulation, which will eliminate costly transportation, processing and disposal of waste. Experimental investigation of the electrohydroimpulse method of crushing reinforced concrete railway overhead line posts made from heavy-weight class B40 concrete have been carried out. Design, technical and operational parameters of the experimental sample of the crushing complex are high mobility, compactness, light weight, low energy consumption, dust-free operation, high quality of the obtained recyclable materials, ease of management, maintenance and transportation. Experimental investigation of the electrohydroimpulse method of crushing has shown high technical, operational and economical parameters to ensure a promising opportunity of implementing the technology of recycling reinforced concrete waste into recyclable materials that meets the criteria of the best available technology in environmental protection. The development of technology to the level of pilot operation in the structural divisions of the electric power complex of railway transport will allow to achieve the target indicator of the Long-term Development Program of JSC «Russian Railways» until 2025 of raising the level of environmental safety in terms of increasing the share of neutralization and involvement of the waste production and consumption in secondary circulation in the total amount of its formation, as well as accelerate the provision of technological sovereignty of Russia.

Keywords

reinforced concrete scrap waste, green recycling technologies, electrohydroimpulse crushing technology, resource conservation, energy efficiency

For citation

Yur'ev A.V., Garanin A.E., Yur'eva D.A., Remyannikov K.P., Miller D.P., Mal'kova A.I., Sergienko A.V. Rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy elektrogidroimpul'snogo drobleniya zhelezobetonnykh otkhodov iz demontirovannykh opor kontaktnoi seti [Results of experimental investigation of the electrohydroimpulse method for crushing reinforced concrete scrap waste from dismantled contact network supports of railway overhead line]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2022, no. 4 (76), pp. 101–108. DOI: 10.26731/1813-9108.2022.4(76).101-108.

Article Info

Received: October 20, 2022; Revised: December 23, 2022; Accepted: December 26, 2022.

Acknowledgement

The work was carried out under the grant of JSC «Russian Railways» No. 3705143, dated December 10, 2019, for young scientists to conduct scientific research aimed at creating new equipment and technologies for use in railway transport «Development of technology The development of technology to the level of pilot operation in the structural divisions of the electric power complex of railway transport will allow achieving. for electrohydroimpulse disposal of reinforced concrete scrap waste from dismantled contact network supports and railway sleepers for the extraction of high-quality recyclables and production of an experimental sample of the electrohydraulic apparatus-pulse crushing of scrap reinforced concrete waste».

Введение

Демонтированные железобетонные опоры контактной сети являются отходами V класса «Лом железобетонных изделий, отходы железобетона в кусковой форме» (код ФККО: 8 22 301 01 21 5) [1]. В соответствии с природо-

охранным законодательством эти отходы необходимо захоронить на специальном полигоне либо осуществить их утилизацию в срок до 11 мес. [2]. При этом приоритетным является уменьшение количества отходов и вовлечение их в хозяйственный оборот [3].

Сложность обслуживания и транспортирования традиционных комплексов дробления, основанных на механическом дроблении [4–8], а также высокая энергоемкость, большие занимаемые площади, значительная себестоимость утилизации требует поиска альтернативных ресурсо- и энергосберегающих «зеленых технологий» дробления, лишенных обозначенных недостатков. Известно о наличии более низких удельных затрат энергии и других достоинствах при динамических методах разрушения [9], основанных на электровзрывном действии, для которых характерно быстрое выделение электрической энергии с преобразованием в механическую при образовании ударных и взрывных волн. К электровзрывной технологии относится электрогидравлическая (электрогидроимпульсная) технология, основанная на «электрогидравлическом эффекте» Л.А. Юткина, при которой создаются сверх-

мощные давления от действия электрического разряда в жидкости [10–18].

В работе освещены результаты экспериментальных исследований дробления с помощью электрогидроимпульсной технологии, позволяющей получить до 100 % вторичных (рециклированных) сырьевых материалов в виде дробленого бетона и его составляющих (щебня, песка, песчано-щебеночной смеси), а также металла.

Целью испытаний являлось экспериментальная проверка применимости электрогидроимпульсной технологии разрушения демонтированных стоек опор контактной сети из центрифугированного железобетона, прочностные характеристики которого соответствуют нормативному классу прочности не ниже В40, посредством разработанного в соответствии с перспективными требованиями экспериментального комплекса.

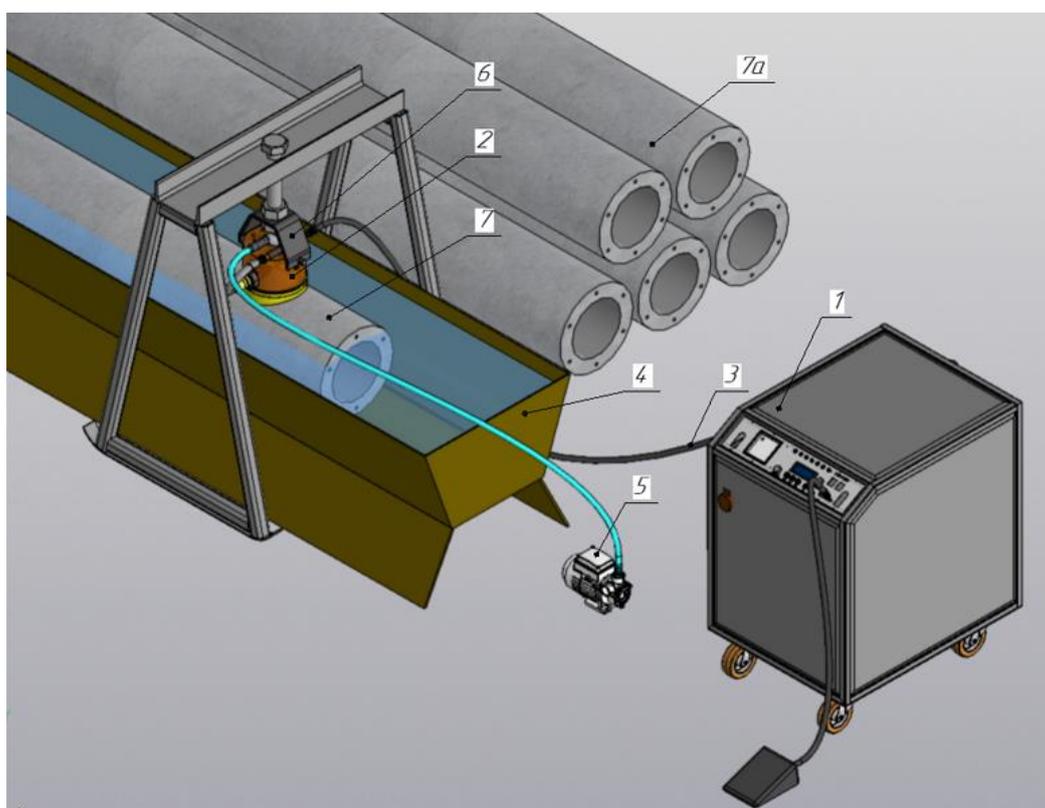


Рис. 1. Фрагмент трехмерной модели экспериментального комплекса:

1 – генератор импульсного тока; 2 – рабочий орган; 3 – высоковольтный кабель; 4 – технологическая емкость; 5 – система циркуляции рабочей жидкости (воды); 6 – передвижное устройство удержания рабочего органа; 7 – утилизируемая железобетонная опора контактной сети; 7а – железобетонные опоры для утилизации

Fig. 1. Fragment of a three-dimensional model of an experimental complex:

1 – pulse current generator; 2 – working body; 3 – high voltage cable; 4 – technological container; 5 – circulation system of the working fluid (water); 6 – mobile device for holding the working body; 7 – recyclable reinforced concrete support of the contact network; 7a – reinforced concrete supports to be disposed of

Перспективные требования к технологии электрогидроимпульсного дробления железобетонных опор контактной сети

Для соответствия признакам наилучшей доступной технологии в природоохранной деятельности, учитывающей существующие особенности образования железобетонных отходов на рассредоточенной территории железнодорожной инфраструктуры, сформулированы перспективные требования к комплексу электрогидроимпульсного дробления железобетонных отходов:

- оптимальные массогабаритные параметры «малый вес – малые размеры»;
- энергоэффективность (низкий расход электроэнергии и воды);
- мобильность и удобство транспортирования;
- экологичность – отсутствие вредного воздействия на окружающую среду и персонал (работа без пылеобразования);
- ресурсосбережение вторсырья (дробленый бетон без примесей металла, арматура без деформаций) (рис. 1).

На основе перспективных требований спроектирован и изготовлен экспериментальный образец аппарата электрогидроимпульсного разрушения железобетонных отходов из демонтированных опор контактной сети для их рециклинга во вторсырье.

Удалось реализовать перспективные требования и достичь соответствующие им технико-

эксплуатационные параметры, среди которых:

- высокие массогабаритные показатели генератора (размеры 0,62×0,8×0,81 м; масса 150 кг);
- использование «мягких режимов работы электрогидроимпульсной технологии» (разрядные напряжение до 20 кВ и энергия до 2,8 кДж);
- удобство транспортирования и обслуживания;
- увеличенный ресурс работы используемых компонентов и комплектующих;
- безотказность функционирования при приближенных к реальным эксплуатационным условиям в широком диапазоне влияющих факторов окружающей среды.

Методика и результаты испытаний

Перед началом испытаний образцы утилизируемых железобетонных опор подверглись визуальному контролю на предмет отсутствия внешних дефектов и трещин, а также ультразвуковой диагностике прибором УК1401М.

Испытания проводились в следующей последовательности. Фрагмент железобетонной опоры погружался в технологическую емкость, заполненную водой до минимального уровня 20 см, необходимого для работы системы циркуляции, использование которой позволило сократить примерно в 30 раз объем воды. Рабочий орган устанавливался полым основанием-вырезом на разрушаемый участок опоры и

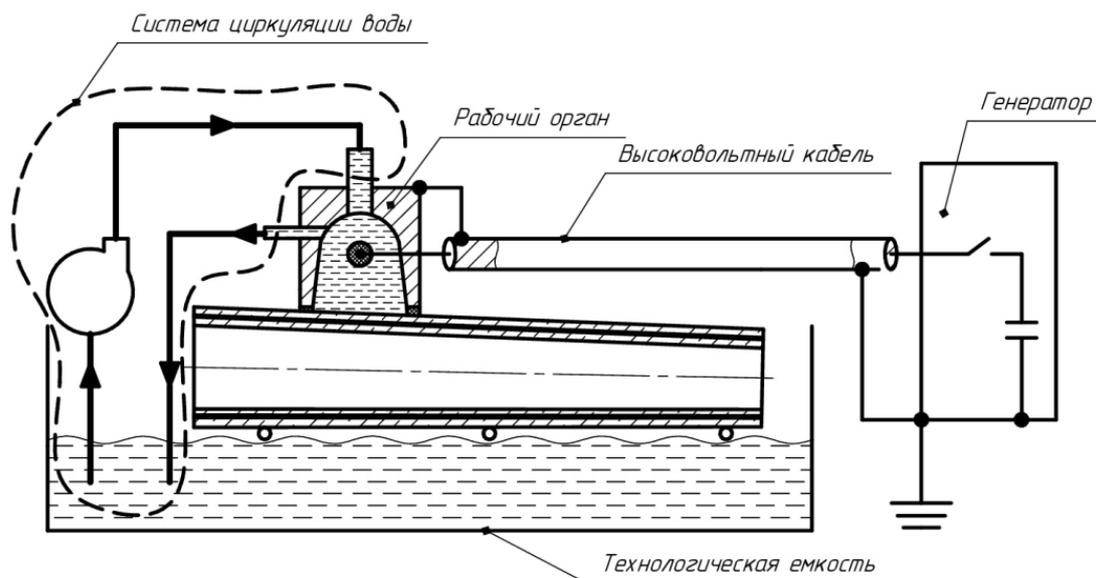


Рис. 2. Схематичный чертеж комплекса электрогидроимпульсного разрушения железобетонных конструкций
Fig. 2. Schematic drawing of the complex of electrohydroimpulse destruction of reinforced concrete structures

удерживался посредством перемещающейся рамной конструкции.

В технологическую емкость помещали дренажный насос. После включения дренажного насоса обеспечивалась система замкнутой циркуляции воды из технологической емкости по отводящему шлангу в рабочую камеру рабочего органа, откуда избыток воды удалялся обратно в технологическую емкость через выходной трубопровод (штуцер) рабочего органа и частично через основание рабочего органа. Посредством коаксиального кабеля генератор соединялся с рабочим органом. Генератор подключался к внешней сети электропитания.

Генератор формировал в рабочем органе испытательные электрогидроимпульсные воздействия (разрядные напряжение и энергия варьировались в диапазоне 17–19 кВ и 2–2,5 кДж

соответственно), после чего осуществлялся визуальный контроль процесса разрушения железобетона – фоторегистрация и проверка качественных результатов приложения испытательных воздействий к испытуемому участку железобетонной конструкции на наличие образования и развития трещин, появления отколов и обрушений кусков бетона, состояния оголенной арматуры. После разрушения одного участка рабочий орган перемещается на следующий испытуемый участок железобетонной конструкции и действия повторялись. Схематический чертеж экспериментального комплекса показан на рис. 2.

Под действием ударных волн, образуемых серией электрических разрядов в заполненной водой рабочей камере рабочего органа, происходит последовательный процесс разрушения



Рис. 3. Процесс отслоения бетона от арматуры после приложения испытательных воздействий к железобетонной опоре типа:

a – ЖБК; *б* – СК 136.6-3

Fig. 3. Detachment of concrete from reinforcement after application of test actions to a reinforced concrete support of type:

a – «ZhBK»; *b* – «SK 136.6-3»

утилизируемой опоры, который заключается в образовании, накоплении и развитии трещин, приводящих к отслоению бетонных фрагментов от металлического арматурного каркаса. При этом физика процесса трещинообразования является приближенной к естественной, поскольку происходит в местах ослабленной прочности в структуре материала железобетона – на стыках разнородных компонентов.

Исследования проводились с железобетонными центрифугированными опорами различных типов: ненапряженный тип ЖБК и предварительно напряженный тип СК (рис. 3).

Благодаря реализованным техническим решениям в комплексе удалось добиться разрушения покрываемого рабочим органом участка железобетонной центрифугированной опоры в пределах пяти испытательных воздействий, соответствующих «мягким режимам» с разрядным напряжением в диапазоне 17–19 кВ и энергией 2–2,5 кДж. После приложения испытательных электрогидроимпульсных воздействий к образцам железобетонной опоры произошло отслоение бетона с его фрагментацией от арматурного каркаса, в результате получено вторичное сырье – щебень из дробленого бетона и металлическая арматура, внешний вид которых показан на рис. 4.

Лабораторные испытания при дроблении центрифугированных железобетонных опор контактной сети показали следующее:

- отделение дробленого бетона от арматуры составило 100 %;
- отсутствие разрушающих повреждений арматуры;
- низкий удельный расход электроэнергии и воды (3 кВт·ч и 1 м³) при перерасчете на разрушение 1 м³ центрифугированного железобетона.

Заключение

Экспериментальные исследования продемонстрировали применимость технологии электрогидроимпульсного разрушения для задач переработки и утилизации отходов после демонтажа железобетонной центрифугированной конструкции с высоким классом прочности В40 во вторичное сырье, а также соответствие экспериментального комплекса перспективным требованиям. В частности, достигнуты:

1. Высокие массогабаритные показатели комплекса (легкий вес и компактность у генератора: 0,8×0,62×0,9 м, 150 кг, у рабочего органа 0,4×0,2×0,15 м, 25 кг), что позволяет использовать его в качестве мобильного варианта.
2. Возможность работы в «мягких режи-



Рис. 4. Дробленный бетон и арматура

Fig. 4. Aggregates and steel armature made from recycled reinforced concrete

мах» при относительно низких рабочих напряжениях – 17–18 кВ, что значительно меньше используемых напряжений, известных из научно-инженерной литературы.

3. Реализованы усовершенствованные схемные и технические решения, позволившие снизить величины обратных напряжений при устранении колебательного режима разряда,

что повысило удельную мощность разряда на рабочем инструменте и увеличило ресурс работы емкостного накопителя примерно в 10 раз.

4. Стабильная работа при изменениях условий окружающей среды без сбоев зарядного устройства и подключенной к электросети аппаратуры.

Список литературы

1. Каталог отходов производства и потребления холдинга «РЖД» : утв. Департаментом охраны труда, промышленной безопасности и экологического контроля ОАО «РЖД» от 12.12.2018. М. : ОАО «РЖД», 2018. 156 с.
2. Об отходах производства и потребления : Федер. закон № 89-ФЗ от 24.06.1998 г. (в ред. 14.07.2022) // КонсультантПлюс : сайт. Доступ из справ.-прав. системы «КонсультантПлюс» в локальной сети.
3. Стратегия экологической безопасности Российской Федерации до 2025 года : указ Президента № 176 от 19.04.2017 г. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41879> (Дата обращения: 13.10.2022).
4. Рекомендации по технологии разрушения некондиционных бетонных и железобетонных изделий механическим способом. М. : НИИЖБ Госстроя СССР, 1984. 9 с.
5. Рекомендации по применению продуктов переработки некондиционных бетонных и железобетонных изделий. М. : НИИЖБ Госстроя СССР, 1984. 10 с.
6. Рекомендации по переработке и использованию отходов предприятий сборного железобетона. М. : НИИЖБ Госстроя СССР, 1987. 18 с.
7. Трамбовецкий В.П. Повторное использование дробленого бетона // Бетон и железобетон. 2004. № 4. С. 24–26.
8. Кальгин А.А., Фахратов М.А., Сохряков В.И. Опыт использования отходов бетона в производстве бетонных и железобетонных изделий // Строительные материалы. 2010. № 6. С. 32–33.
9. Гусев Б.В., Загурский В.А. Вторичное использование бетонов. М. : Стройиздат, 1988. 96 с.
10. Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. Л. : Машиностроение, 1986. 253 с.
11. Ким К.К., Костроминов А.А., Колосовская Н.А. Утилизация железобетонных опор контактной сети // Железнодорожный транспорт. 2006. № 10. С. 70–71.
12. Application of pulsed HV discharges to material fragmentation and recycling / H. Bluhm, W. Frey, H. Giese et al. // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. 2000. Vol. 7 (5). Pp. 625–636.
13. Controlled disintegration of rein-forced concrete blocks based on wave and fracture dynamics / Koji Uenishi, Naoyuki Shigeno, Shintaro Sakaguchi et al. // Procedia Structural Integrity. 2016. Vol. 2. Pp. 350–357.
14. Xiaodong Wang, Jiaxu Du, Ningjing Li. Research on Crushing Concrete Members by High-Voltage Pulse Discharge Technology // Advances in Civil Engineering. 2021. DOI 10.1155/2021/5511959 URL: <https://www.hindawi.com/journals/ace/2021/5511959/> (Дата обращения: 17.11.2021).
15. Оборудование и технологические процессы с использованием электрогидравлического эффекта / Г.А. Гулый, П.П. Малюшевский, Е.В. Кривицкий и др. М. : Машиностроение, 1977. 320 с.
16. Гулый Г.А., Малюшевский П.П. Высоковольтный электрический разряд в силовых импульсных системах. Киев : Наук. думка, 1977. 208 с.
17. Малюшевский П.П. Основы разрядно-импульсной технологии. Киев : Наук. думка, 1983. 272 с.
18. Гулый Г.А. Научные основы разрядно-импульсных технологий. Киев : Наук. думка, 1990. 208 с.

References

1. Katalog otkhodov proizvodstva i potrebleniya kholdinga «RZhD» : utverzhen Departamentom okhrany truda, promyshlennoi bezopasnosti i ekologicheskogo kontrolya ОАО «RZhD» 12.12.2018 g. [Catalog of production and consumption waste of the Joint Stock Company «Russian Railways»: approved by the Department of Labor Protection, Industrial Safety and Environmental Control of JSC «Russian Railways» on December 12, 2018]. Moscow: RZhD Publ., 2018. 156 p.
2. Federal'nyi zakon № 89-FZ ot 24 Iyunya 1998 goda «Ob otkhodakh proizvodstva i potrebleniya» (red. 14.07.2022) [Federal Law no 89-FL «On production and consumption waste» dated June 24, 1998 (edited by July 14, 2022)].
3. Ukaz Prezidenta №176 ot 19.04.2017 g. «Strategiya ekologicheskoi bezopasnosti Rossiiskoi Federatsii do 2025 goda» [Presidential Executive Order No 176 dated April 19, 2017 «Ecological Safety Strategy of the Russian Federation until 2025»]. Available at: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41879> (Accessed October 13, 2022).
4. Rekomendatsii po tekhnologii razrusheniya nekonditsionnykh betonnykh i zhelezobetonnykh izdelii mekhanicheskim sposobom [Recommendations on the technology of destruction of substandard concrete and reinforced concrete products by mechanical means]. Moscow: NIIZhB Gosstroya SSSR Publ., 1984. 9 p.
5. Rekomendatsii po primeneniyu produktov pererabotki nekonditsionnykh betonnykh i zhelezobetonnykh izdelii [Recommendations for the use of processing products of substandard concrete and reinforced concrete products]. Moscow: NIIZhB Gosstroya SSSR Publ., 1984. 10 p.
6. Rekomendatsii po pererabotke i ispol'zovaniyu otkhodov predpriyatii sbornogo zhelezobetona [Recommendations for the processing and use of waste from prefabricated reinforced concrete enterprises]. Moscow: NIIZhB Gosstroya SSSR Publ., 1987. 18 p.

7. Trambovetskii V.P. Povtornoe ispol'zovanie drobленого бетона [Reuse of crushed concrete]. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and reinforced concrete], 2004, no. 4, pp. 24–26.
8. Kalgin A.A., Fakhratov M.A., Sokhryakov V.I. Opyt ispol'zovaniya otkhodov бетона v proizvodstve betonnykh i zhelezobetonnykh izdelii [Experience in the use of concrete waste in the production of concrete and reinforced concrete products]. *Stroitel'nye materialy* [Building materials], 2010, no. 6, pp. 32–33.
9. Gusev B.V., Zagurskii V.A. Vtorichnoe ispol'zovanie betonov [Secondary use of concretes]. Moscow: Stroizdat Publ., 1988. 96 p.
10. Yutkin L.A. Elektrogidravlicheskiy effekt i ego primeneniye v promyshlennosti [Electrohydraulic effect and its application in industry]. Leningrad: Mashinostroeniye Publ., 1986. 253 p.
11. Kim K.K., Kostrominov A.A., Kolosovskaya N.A. Utilizatsiya zhelezobetonnykh opor kontaktnoi seti [Utilization of reinforced concrete supports of the contact network]. *Zheleznodorozhnyy transport* [Railway transport], 2006, no. 10, pp. 70–71.
12. Bluhm H., Frey W., Giese H., Hoppe P., Schultheiß C., Sträßner R. Application of pulsed HV discharges to material fragmentation and recycling. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 2000, vol. 7 (5), pp. 625–636.
13. Koji Uenishi, Naoyuki Shigeno, Shintaro Sakaguchi, Hiroshi Yamachi, Junichiro Nakamori. Controlled disintegration of reinforced concrete blocks based on wave and fracture dynamics. *Procedia Structural Integrity*, 2016, vol. 2, pp. 350–357.
14. Xiaodong Wang, Jiayu Du, Ningjing Li. Research on Crushing Concrete Members by High-Voltage Pulse Discharge Technology. *Advances in Civil Engineering*, 2021. URL: <https://www.hindawi.com/journals/ace/2021/5511959/9> (Accessed November 17, 2021).
15. Gulyi G.A., Malyushevskii P.P., Krivitskii E.V. et al. Oborudovaniye i tekhnologicheskie protsessy s ispol'zovaniem elektrogidravlicheskogo effekta [Equipment and technological processes using the electro-hydraulic effect]. Moscow: Mashinostroeniye Publ., 1977. 320 p.
16. Gulyi G.A., Malyushevskii P.P. Vysokovol'tnyiye elektricheskiiy razryad v silovykh impul'snykh sistemakh [High-Voltage Electrical Discharge in Power Impulse Systems]. Kyiv: Naukova Dumka Publ., 1977. 208 p.
17. Malyushevskii P.P. Osnovy razryadno-impul'snoi tekhnologii [Fundamentals of discharge-pulse technology]. Kyiv: Naukova Dumka Publ., 1983. 272 p.
18. 19. Gulyi G.A. Nauchnye osnovy razryadno-impul'snykh tekhnologii [Scientific foundations of discharge-pulse technologies]. Kyiv: Naukova Dumka Publ., 1990. 208 p.

Информация об авторах

Юрьев Анатолий Васильевич, инженер Регионального центра инновационного развития Красноярского института железнодорожного транспорта – филиала Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Красноярск; e-mail: magite@mail.ru.

Гаранин Александр Евгеньевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры систем обеспечения движения поездов Красноярского института железнодорожного транспорта – филиала Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Красноярск, e-mail: alexandergaranin@mail.ru.

Юрева Дарья Анатольевна, ведущий менеджер PLM ООО «Региональный центр «АСКОН-Енисей», г. Красноярск; e-mail: yureva_da@ascon.ru.

Ремьянников Константин Петрович, начальник отдела инжиниринга и прототипирования Красноярского регионального инновационно-технологического бизнес-инкубатора, г. Красноярск; e-mail: somyzi@yandex.ru.

Миллер Данила Петрович, инженер Регионального центра инновационного развития Красноярского института железнодорожного транспорта – филиала Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Красноярск; e-mail: danil_m99@mail.ru.

Малькова Анастасия Игоревна, электромонтер Кошурниковской дистанции сигнализации, централизации и блокировки – структурного подразделения Красноярской дирекции инфраструктуры – структурного подразделения Центральной дирекции инфраструктуры – филиала ОАО «РЖД», пос. Кошурниково; e-mail: nastyusha.malkova.00@mail.ru.

Сергиенко Александр Владимирович, Школа космонавтики, г. Железногорск; e-mail: alexandergaranin@mail.ru.

Information about the authors

Anatolii V. Yur'ev, Engineer of the Regional Center for Innovative Development, Krasnoyarsk Rail Transport Institute, a branch of Irkutsk State Transport University, Krasnoyarsk; e-mail: magite@mail.ru.

Alexander E. Garanin, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Train Traffic Support Systems, Krasnoyarsk Rail Transport Institute, a branch of Irkutsk State Transport University, Krasnoyarsk; e-mail: alexandergaranin@mail.ru.

Dar'ya A. Yur'eva, Lead Manager PLM «LCC «RC «ASCON-Eнисей», Krasnoyarsk; e-mail: yureva_da@ascon.ru.

Konstantin P. Remyannikov, Head of the Department of Engineering and Prototyping, Krasnoyarsk Regional Innovation and Technology Business Incubator, Krasnoyarsk; e-mail: somyzi@yandex.ru.

Danila P. Miller, Engineer of the Regional Center for Innovative Development, Krasnoyarsk Rail Transport Institute, a branch of Irkutsk State Transport University, Krasnoyarsk; e-mail: danil_m99@mail.ru.

Anastasiya I. Mal'kova, electrical Engineer of Koshurnikovskaya signaling, centralization and blocking distance – a structural subdivision of the Krasnoyarsk Directorate of Infrastructure – a structural subdivision of the Central Directorate of Infrastructure – a branch of JSC «Russian Railways», Koshurnikovo; e-mail: nastyusha.malkova.00@mail.ru.

Alexander V. Sergienko, Cosmonautics School, Zheleznogorsk; e-mail: alexandergaranin@mail.ru.