

Вибротранспортирование твердеющих смесей при подземной разработке месторождений

В.В. Герасиди¹✉, В.Ю. Колюхов², Т.А. Опарина², В.Е. Гозбенко^{3, 4}, А.С. Апатенко⁵

¹ Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, г. Новороссийск, Российская Федерация

² Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Российская Федерация

³ Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

⁴ Ангарский государственный технический университет, г. Ангарск, Российская Федерация

⁵ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Российская Федерация

✉ gerasidivv@yandex.ru

Резюме: Увеличение объема потребления минерального сырья при исчерпаемости его запасов в комфортных для добычи регионах и другие явления современности актуализируют необходимость модернизации технологий разработки месторождений полезных ископаемых. Одним из основных способов повышения эффективности добычи минерального сырья является управление выработанным пространством путем заполнения его твердеющими смесями. При этом обостряется проблема транспортирования твердеющих смесей на удаленные участки месторождений. Существующие технологии ограничены в возможностях решения этой проблемы, что значительно увеличивает расходы на добычу минерального сырья. В статье описывается сравнительно новая технология транспортирования гидросмеси на расстояние 2000 м в режиме вибропринуждения, которая в течение ряда лет применялась при подземной разработке сближенных месторождений с приготовлением смесей на одном из месторождений и транспортированием их на другое месторождение. Обоснована возможность оптимизации процессов перемещения гидросмеси с минимизацией затрат и снижением нагрузки на окружающую среду путем строительства трубопровода не на земной поверхности, а в подземных выработках. Даны результаты обоснования параметров транспортирования гидросмеси в режиме вибропринуждения, полученные моделированием по критериям дальности и надежности транспортирования и подтвержденные практикой.

Ключевые слова: твердеющие смеси, вибротранспортировка, подземная разработка, месторождения, окружающая среда, трубопроводная транспортировка

Для цитирования: Герасиди В.В., Колюхов В.Ю., Опарина Т.А., Гозбенко В.Е., Апатенко А.С. Вибротранспортирование твердеющих смесей при подземной разработке месторождений. *Горная промышленность*. 2024;(5S):184–189. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-5S-184-189>

Vibration transportation of solidifying mixtures in underground mining

V.V. Gerasidi¹✉, V.Yu. Konyukhov², T.A. Oparina², V.E. Gozbenko^{3, 4}, A.S. Apatenko⁵

¹ State Maritime University named after Admiral F.F. Ushakova, Novorossiysk, Russian Federation

² Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation

³ Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russian Federation

⁴ Angarsk State Technical University, Angarsk, Russian Federation

⁵ Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

✉ gerasidivv@yandex.ru

Abstract: Increasing volumes of consumed mineral raw materials alongside with depletion of their reserves in the regions, where their mining is convenient, and other modern phenomena explain the need to modernize the technologies for the development of mineral deposits. One of the main ways to improve the efficiency of mineral raw material extraction is to manage the mined-out space by filling it with solidifying mixtures. At the same time, the problem of transporting these solidifying mixtures to remote areas of the mine becomes more acute. Existing technologies are limited in their ability to solve this challenge, which significantly increases the costs of mining mineral raw materials. The article describes a relatively new technology for transporting a hydraulic mixture over a distance of 2000 m in the vibration-forced mode, which has been used for a number of years in the underground mining of adjacent deposits with preparation of mixtures at one of the deposits and their transportation to another deposit. The paper justifies the possibility of optimizing the processes of hydraulic mixture movement while minimizing the costs and reducing the environmental impact by constructing a pipeline not on the earth's surface, but in the underground workings. The results of justifying the parameters of hydraulic mixture transportation in the vibration-forced mode are given, obtained by modeling according to the criteria of distance and reliability of transportation and confirmed by practice.

Keywords: solidifying mixtures, vibration transport, underground mining, deposits, environment, pipeline transportation

For citation: Gerasidi V.V., Konyukhov V.Yu., Oparina T.A., Gozbenko V.E., Apatenko A.S. Vibration transportation of solidifying mixtures in underground mining. *Russian Mining Industry*. 2024;(5S):184–189. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-5S-184-189>

Введение

При подземной разработке месторождений доля закладки пустот твердеющими смесями достигает 80%. Они являются основой технологий с сохранением участков земной коры от разрушения горными работами при наибольшем извлечении минерального сырья. Эти свойства технологий становятся приоритетными особенно при добыче ценных полезных ископаемых, обеспечивая эффективность даже при высоких затратах, достигающих 2/3 общих затрат. В горном производстве важную роль играет перемещение закладочных материалов к местам их использования, что формирует проблему транспортирования гидросмеси по трубопроводам. Обоснование параметров транспортирования гидросмеси становится важной задачей исследований в горном производстве. Сопротивление транспортированию в трубопроводе зависит от сил динамического трения, которые оказывают сопротивление перемещению смеси. Показатели транспортирования улучшают путем силового воздействия на процесс с созданием оптимальных условий для их применения. Поэтому повышение подвижности смеси при доставке по трубопроводам становится главной задачей обоснования возможности транспортирования твердеющей смеси.

Чаще всего закладочные смеси от места приготовления до места укладки транспортируют по трубопроводам самотеком, что возможно при условии превышения высоты вертикального става над длиной горизонтального участка трубопровода. Попытка увеличить транспортабельность смеси добавкой воды является паллиативом, поскольку вода вымывает вяжущие и ослабляет искусственные маслянистые вещества. Известен самотечно-пневматический способ доставки, когда смесь по трубопроводу движется самотеком, но с подпором сжатым воздухом. Такая технология характеризуется повышенными затратами энергии. Условием движения смесей в обоих случаях является соотношение вертикальной и горизонтальной частей трубопровода. На руднике «Висмут» (ФРГ) впервые в горной практике смесь транспортировали на расстояние, в 3 раза превышающее высоту вертикальной части трубопровода. В качестве движущей силы был использован феномен вибрации горизонтальной части закладочного трубопровода. Принципы использования технологий транспортирования твердеющих смесей в подземных условиях даны в работах [1; 2]. Теория и практика применения комбинированных физико-химических и энергетических воздействий на геоматериалы изложена в работах [3; 4]. Феномен активации компонентов твердеющей закладочной смеси в установках вибрационного трубопроводного транспорта исследован в трудах [5; 6]. Примеры практического использования технологий с вибропринуждением даны в статьях [7; 8]. Геоэкологическая оценка природоохранительных мероприятий при подземной добыче полезных ископаемых приведена в статьях [9; 10]. Вопросам удешевления закладочных работ посвящены труды ряда исследователей [11; 12]. Освоение

подземного пространства при утилизации техногенных отходов является целью научных исследований в горнодобывающих отраслях [13; 14]. Использование феномена активации смеси из отходов производства при приготовлении и транспортировании твердеющих составов для закладки затронуто в трудах [15; 16]. Вопросы дальнейшего совершенствования горных работ поднимаются в статьях [14; 15]. Результаты исследований российских ученых перекликаются с выводами зарубежных специалистов данного направления горного дела [11; 17–20].

Методы исследования

Систематизируются сведения о теории и практике транспортирования гидросмеси альтернативными способами. Путем анализа полученных результатов формируется база для моделирования параметров транспортирования смеси с получением оптимального значения [21–23]. Процессы транспортирования моделировали в лабораторной установке. Критическая скорость определялась по расходу гидросмеси в момент образования в трубопроводе неподвижного слоя. Рассмотрены три варианта соотношения твердого компонента к жидкому: 1:1,0; 1:1,5 и 1:2. Гидросмесь имитировали песчаными и пылеватыми фракциями с числом пластичности 1...7 %. Концентрация твердых частиц в воде выдерживалась в пределах 0,1...0,8.

Определяемые исследованием параметры включали в себя:

- амплитуду и частоту вынужденных колебаний трубопровода;
- диаметр трубопровода;
- потери давления и дальность подачи смеси;
- жесткость упругих элементов опор и
- величину вынуждающей силы.

Параметры промышленной установки: диаметр воздушной резки 40 мм, диаметр трубопровода 170 мм, давление сжатого воздуха 6 МПа, производительность 60 м³/ч, вынуждающая сила 2...5 кН, амплитуда колебания 1,2...2,0 мм, частота колебаний 6,0...13 Гц, влияние одного возбудителя 200...220 м. Состав исследуемой гидросмеси, кг/м³: цемент 100, доменных шлаков 160...250, вода 380. Дальность подачи смеси, м: 2000 м с подъемом в конце трассы на 14 м. Скорость движения смеси по трубопроводу, м/с: 1,2–1,5. Максимальная производительность системы, м³/ч – 100.

Результаты

Технология вибросамотечного транспорта была применена при разработке месторождений Шокпак и Камышовое (Северный Казахстан), расположенных рядом. Закладочную смесь на месторождение Камышовое подавали с закладочного комплекса месторождения Шокпак. Особенность примененной технологии состояла в том, что при длине 958 м горизонтального става трубопровода вертикальный став имел высоту 174 м. Горизонтальный участок закладочного трубопровода представляет собой систему

секционированных труб, смонтирован на амортизирующих опорах [24; 25]. Каждая секция секции длиной 200 м снабжена механическим вибровозбудителем. Гидросмесь транспортировали при соотношении твердого к жидкому 1:6 и плотности менее 1,25 т/м³. Под воздействием вибраторов контактирующая со стенками трубопровода смесь испытывала перепад давления 0,12...0,20 МПа. Параметры работы трубопровода: частота колебаний 10...30 Гц, амплитуда 0,5...1,5 мм, скорость движения смеси 2,5...3 м/с. В ходе доставки смеси за счет перемешивания компонентов прочность затвердевшего массива увеличивалась почти вдвое. В ходе многолетней эксплуатации определены параметры вибротранспортной установки:

- вынуждающая сила – 2–5 кН;
- амплитуда колебания трубопровода 1,2–2,0 мм;
- частота колебаний 6,0–13 Гц.

Эффект вибрации проявился в том, что смесь передвигалась по трубопроводу без помощи воды или сжатого воздуха, не нарушая своей нормативной структуры. В случае транспортирования гидросмеси по вибрационной схеме сопротивление движению смеси уменьшается на величину в 2...2,5 раза.

Моделирование осуществлено при ступенчатом воздействии и постоянной частоте вращения насоса 1300 об/мин. На первом этапе в течение 120 с происходит наполнение емкости. Второй этап – до 270 с – характеризуется переходным процессом в заполненном гидросмесью трубопроводе. На третьем этапе, подаче, происходит перераспределение расхода гидросмеси. Расслоение смеси зависит от крупности компонентов смеси. Оно исключается для наполнителей размером до 5,0 мм при скорости транспортирования 0,5...0,7 м/с и 0,7...1,0 м/с при размере до 40 мм. При увеличении скорости потока закономерно увеличиваются потери – как расчетные, так и полученные экспериментально. Производительность трубопроводного вибротранспорта смеси зависит от направления вынуждающей силы вибровозбудителя и частоты вынужденных колебаний (рис. 1).

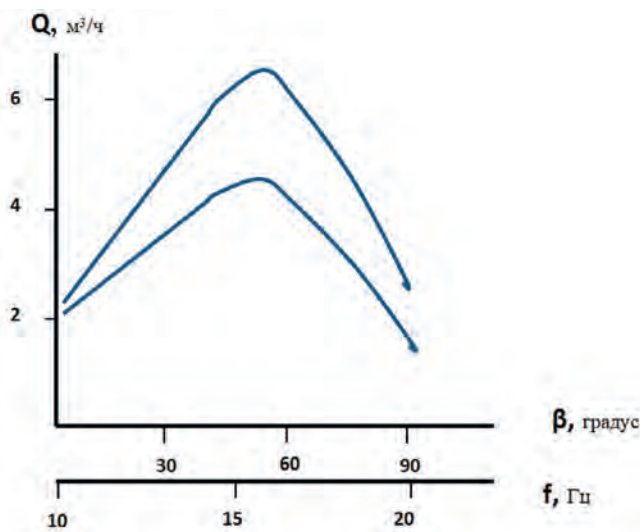


Рис. 1
Зависимость производительности доставки от параметров возбуждения:
β – направление вынуждающей силы, град;
f – частота колебаний, Гц

Fig. 1
Dependence of the delivery performance on the excitation parameters: β – direction of the driving force, degree;
f – the oscillation frequency, Hz

Обсуждение результатов

Параметры вибротранспортирования смеси обеспечиваются при должном соотношении компонентов закладочной смеси и поведении ее на контакте с трубопроводом. Условием движения смеси является наличие потока, сохраняющего вязко-пластичные свойства смеси и отделяющего поток от стенок трубопровода.

Для предупреждения расслоения смеси скорость её движения должна составлять:

- при наполнителе крупностью до 5,0 мм – 0,5...0,7 м/с;
- при наполнителе крупностью 5,0–40,0 мм – 0,7...1,0 м/с.

Алгоритм исследования параметров вибротранспортной установки будет ступенчатым. Исследование будет производиться в следующей последовательности:

- пропускная способность трубопровода: производительность транспортирующей установки, диаметр трубопровода;
- минимальная скорость движения для оказания вибрационного воздействия;
- дальность транспортирования смеси: плотность смеси, показатели вибрационного воздействия;
- жесткость упругой системы: масса секции, плотность твердеющей смеси;
- предупреждение отрыва упругих элементов: осадка упругого резинового элемента опоры;
- величина вынуждающей силы вибровозбудителя: статистический момент массы дебаланса вибровозбудителя, масса трубопровода с учетом массы смеси, масса и эксцентриситет неуравновешенной части дебаланса, частота вращения вала вибровозбудителя;
- масса неуравновешенной части дебаланса: площадь сечения, ширина дебаланса, плотность материала.

Актуальность проблем совершенствования добычных работ повышается с истощением доступных для комфортной разработки запасов руд. Транспортирование смесей с использованием феномена вибрации увеличивает длину доставки твердеющей смеси, что позволяет отказаться от строительства новых закладочных комплексов при разработке участков месторождений за пределами возможностей самотека. Новые научные и практические результаты работ получены при обработке закладочной смеси в активаторах, в том числе:

- шаровая мельница МЩ 3200–4500 и вертикальная вибромельница MBV-0,7;
- дезинтегратор;
- вибрационные питатели-грохоты;
- установки электрохимической очистки шахтных вод.

Улучшение параметров доставки твердеющих смесей расширяет область применения технологий с закладкой выработанного пространства, сокращает затраты и избавляет от необходимости строительства новых закладочных комплексов, в том числе с отвлечением участков земной поверхности. Существенным достоинством вибротранспорта является гомогенизация смеси с приращением прочности в трубопроводе. Перспективным направлением решения затронутой проблемы является освоение техногенных отходов, извлечения металлов из которых позволит улучшить экологическую обстановку и обеспечит прирост минерально-сырьевой базы. Результаты исследования могут быть востребованы при разработке месторождений полезных ископаемых при необходимости доставки гидросмеси на значительное расстояние. Использование в составах твердеющих смесей малоактивных отходов производства отвечает принципам ресурсосбережения.

Заключение

Транспортируемая по трубопроводу смесь отличается более равномерным распределением компонентов твердеющей смеси в процессе ее транспортирования, что увеличивает прочность искусственных массивов. Вибротранспортирование позволяет отказаться от прокладки трубопроводов на земной поверхности с отвлечением

земли из пользования. Возможности вибротранспортирования позволяют вовлечь в производство малоактивные отходы собственного и смежных производств с повышением полноты использования недр. Расчет параметров трубопроводного вибротранспорта твердеющих закладочных смесей может быть оптимизирован с использованием предложенного алгоритма.

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет конкурирующих, финансовых интересов или личных отношений, которые могли бы повлиять на работу, описанную в этой статье.

Competing Interests

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Вклад авторов

Авторы заявляют о равноценном вкладе всех соавторов в работу.

Authors' contributions

The authors declare the equal contribution of all co-authors to the work.

Список литературы / References

1. Tynchenko V., Kukartsev V., Shalaeva D., Zdrestova-Zaharenkova S., Dzhioeva N., Moiseeva K. Development of automated control system of electron-beam welding process. In: Silhavy, R., Silhavy, P., Prokopova, Z. (eds) *Software Engineering Application in Systems Design. CoMeSySo 2022. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 596*. Springer, Cham; 2023, pp. 484–490. https://doi.org/10.1007/978-3-031-21435-6_42
2. Sokolov A.A., Fomenko V.A., Aksenova M.A., Malozyemov B.V., Kerimzhanova M.F. Development of a methodology for radon pollution studies based on algorithms taking into account the influence of constant mountainvalley winds. *Applied Chemical Engineering*. 2024;7(2):ACE-1865. <https://doi.org/10.59429/ace.v7i2.1865>
3. Volneikina E., Kukartseva O., Menshenin A., Tynchenko V., Degtyareva K. Simulation-dynamic modeling of supply chains based on big data. In: *2023 22nd International Symposium INFOTEH-JAHORINA, INFOTEH, East Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, 15–17 March. 2023*. IEEE; 2023, pp. 1–6. <https://doi.org/10.1109/INFOTEH57020.2023.10094168>
4. Tananykhin D.S. Scientific and methodological support of sand management during operation of horizontal wells. *International Journal of Engineering*. Transactions A: Basics. 2024;37(07):1395–1407. <https://doi.org/10.5829/ije.2024.37.07a.17>
5. Kukartsev V.V., Dalisova N., Muzyka P., Yarkova S.A., Degtyareva K.V. Control system for personnel, fuel and boilers in the boiler house. *E3S Web of Conferences*. 2023;458:01010. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202345801010>
6. Skeebe V.Yu., Ivancivsky V.V., Martyushev N.V., Lobanov D.V., Vakhrushev N.V., Zhigulev A.K. Numerical simulation of temperature field in steel under action of electron beam heating Source. *Key Engineering Materials*. 2016;712:105–111. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.712.105>
7. Ahmadi M.H., Alizadeh S.M., Tananykhin D., Hadi S.K., Iliushin P., Lekomtsev A. Laboratory evaluation of hybrid chemical enhanced oil recovery methods coupled with carbon dioxide. *Energy Reports*. 2021;7:960–967. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.02.005>
8. Kozlova A., Kukartsev V., Melnikov V., Kovalev G., Stashkevich A. Finding dependencies in the corporate environment using data mining. *E3S Web of Conferences*. 2023;431:05032. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202343105032>
9. Gladkov A., Kukartsev V., Yarkova A., Kuzmich R., Nizameeva A. Development of an automation system for personnel monitoring and control of ordered products. *E3S Web of Conferences*. 2023;458:01007. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202345801007>

10. Saychenko L., Tananykhin D., Ashena R. Prevention of scale in the downhole equipment and productive reservoir during the oil well operation. *Journal of Applied Engineering Science*. 2021;19(2):363–368. <https://doi.org/10.5937/jaes0-29696>
11. Gladkov A., Kukartsev V., Kozlova A., Grigorev D. Development of requirements for AIS aimed at controlling high turnover. In: *2023 IEEE International Conference on Computing (ICOCO), Langkawi, Malaysia, 9–12 October 2023*. IEEE; 2023, pp. 232–236. <https://doi.org/10.1109/ICOCO59262.2023.10397670>
12. Фастыковский А.Р., Мусатова А.И., Мартюшев Н.В., Карлина А.И. Обоснование нормативных моделей производительности листопркатного цеха. Сообщение 2. *Черные металлы*. 2024;(3):63–68. <https://doi.org/10.17580/chm.2024.03.10>
Fastykovsky A.R., Musatova A.I., Martyushev N.V., Karlina A.I. Feasibility demonstration of normative models for sheet-rolling shop productivity. Message 2. *Chernye Metally*. 2024;(3):63–68. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/chm.2024.03.10>
13. Голик В.И., Качурин Н.М., Стась Г.В., Лискова М.Ю. К природо- и ресурсосберегающим технологиям подземной разработки месторождений сложной структуры. *Безопасность труда в промышленности*. 2022;(9):22–27. <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2022-9-22-27>
Golik V.I., Kachurin N.M., Stas G.V., Liskova M.Yu. To nature- and resource-saving technologies for underground mining of the complex structure deposits. *Occupational Safety in Industry*. 2022;(9):22–27. (In Russ.) <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2022-9-22-27>
14. Pashkov E.N., Martyushev N.V., Ponomarev A.V. An investigation into autobalancing devices with multireservoir system. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2014;66:012014. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/66/1/012014>
15. Vidayev I.G., Martyushev N.V., Ivashutenko A.S., Bogdan A.M. The resource efficiency assessment technique for the foundry production. *Advanced Materials Research*. 2014;880:141–145. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.880.141>
16. Грязев М.В., Качурин Н.М., Стась Г.В. Пылегазовые выбросы с поверхности породных отвалов ликвидированных шахт угольного бассейна. *Устойчивое развитие горных территорий*. 2018;10(4):500–508. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2018-10-4-500-508>
Gryazev M.V., Kachurin N.M., Stas G.V. Dust and gas emissions from the dumps surfaces of the liquidated mines of the Moscow Coal basin. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2018;10(4):500–508. (In Russ.) <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2018-10-4-500-508>
17. Ключев С.В., Кашапов Н.Ф., Радайкин О.В., Сабитов Л.С., Ключев А.В., Шекина Н.А. Коэффициент надежности по материалу для фибробетона. *Строительные материалы и изделия*. 2022;5(2):51–58. <https://doi.org/10.58224/2618-7183-2022-5-2-51-58>
Klyuev S.V., Kashapov N.F., Radaykin O.V., Sabitov L.S., Klyuev A.V., Shchekina N.A. The reliability coefficient for fibre concrete material. *Construction Materials and Products*. 2022;5(2):51–58. (In Russ.) <https://doi.org/10.58224/2618-7183-2022-5-2-51-58>
18. Босиков И.И., Ключев Р.В., Силаев И.В., Стась Г.В. Комплексная оценка трудноформализуемых вентиляционно-технологических процессов на угольных шахтах. *Устойчивое развитие горных территорий*. 2023;15(3):516–527. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2023-15-3-516-527>
Bosikov I.I., Klyuev R.V., Silaev I.V., Stas G.V. Comprehensive assessment of formalized ventilation difficulty and technological processes in coal mines. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2023;15(3):516–527. (In Russ.) <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2023-15-3-516-527>
19. Соколов А. А., Орлова Л. Г., Башмур К. А., Кузьмич Р. И., Кукарцев В. В. Моделирование различных режимов работы трансформаторов, применяемых на подстанциях горнодобывающей промышленности. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2023;(11-1):278–291. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_111_0_278
Sokolov A.A., Orlova L.G., Bashmur K.A., Kuzmich R.I., Kukartsev V.V. Ensuring uninterrupted power supply to mining enterprises by developing virtual models of different operation modes of transformer substations. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2023;(11-1):278–291. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_111_0_278
20. Tynchenko V.S., Tynchenko Ya.A., Rogova D.V., Leonteva A.A., Seregin Yu.N., Bocharov A.N. Energy distribution computation for induction soldered construction elements. *AIP Conference Proceedings*. 2023;2700:070017. <https://doi.org/10.1063/5.0125008>
21. Ключев А.В., Кашапов Н.Ф., Ключев С.В., Лесовик Р.В., Агеева М.С., Фомина Е.В., Аюбов Н.А. Разработка щелочеактивированных вяжущих на основе техногенных волокнистых материалов. *Строительные материалы и изделия*. 2023;6(1):60–73. <https://doi.org/10.58224/2618-7183-2023-6-1-60-73>
Klyuev A.V., Kashapov N.F., Klyuev S.V., Lesovik R.V., Ageeva M.S., Fomina E.V., Ayubov N.A. Development of alkali-activated binders based on technogenic fibrous materials. *Construction Materials and Products*. 2023;6(1):60–73. (In Russ.) <https://doi.org/10.58224/2618-7183-2023-6-1-60-73>

22. Ключев А.В., Кашапов Н.Ф., Ключев С.В., Золотарева С.В., Щекина Н.А., Шорстова Е.С. и др. Экспериментальные исследования процессов структурообразования композиционных смесей с техногенным механоактивированным кремнеземистым компонентом. *Строительные материалы и изделия*. 2023;6(2):5–18. <https://doi.org/10.58224/2618-7183-2023-6-2-5-18>
Klyuev A.V., Kashapov N.F., Klyuev S.V., Zolotareva S.V., Shchekina N.A., Shorstova E.S. et al. Experimental studies of the processes of structure formation of composite mixtures with technogenic mechanoactivated silica component. *Construction Materials and Products*. 2023;6(2):5–18. (In Russ.) <https://doi.org/10.58224/2618-7183-2023-6-2-5-18>
23. Ardashkin I.B., Yakovlev A.N., Martyushev N.V. Evaluation of the resource efficiency of foundry technologies: Methodological aspect. *Advanced Materials Research*. 2014;1040:912–916. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1040.912>
24. Sherov K.T., Tussupova S.O., Mazdubay A.V., Sikhimbayev M.R., Absadykov B.N. Increasing durability of thermo-friction tools by surfacing. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences*. 2022;3(453):265–275. <https://doi.org/10.32014/2022.2518-170X.195>
25. Sherov K.T., Donenbayev B.S., Sikhimbayev M.R., Kuanov I.S., Tazhenova G.D. The research of circular saw blade stability state for thermal frictional cutting by the method of calculation in the form of a hingeless circular arch. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences*. 2022;4(454):240–251. <https://doi.org/10.32014/2022.2518-170X.213>

Информация об авторах

Герасиди Виктор Владимирович – кандидат технических наук, доцент, Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, г. Новороссийск, Российская Федерация; <https://orcid.org/0009-0008-1673-3192>; e-mail: gerasidivv@yandex.ru

Конюхов Владимир Юрьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации и управления, Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0001-9137-9404>; e-mail: konyukhov_vyu@mail.ru

Опарина Татьяна Александровна – Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Российская Федерация; e-mail: tatianaop@ex.istu.edu

Гозбенко Валерий Ерофеевич – доктор технических наук, профессор, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация; Ангарский государственный технический университет, г. Ангарск, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0001-8394-0054>; e-mail: vgozbenko@yandex.ru

Апатенко Алексей Сергеевич – доктор технических наук, профессор, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-2492-9274>; e-mail: a.apatenko@rgau-msha.ru

Information about the authors

Viktor V. Gerasidi – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Admiral F.F. Ushakov State Maritime University, Novorossiysk, Russian Federation; <https://orcid.org/0009-0008-1673-3192>; e-mail: gerasidivv@yandex.ru

Vladimir Yu. Konyukhov – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department of automation and Control, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0001-9137-9404>; e-mail: konyukhov_vyu@mail.ru

Tatyana A. Oparina – Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation; e-mail: tatianaop@ex.istu.edu

Valery E. Gozbenko – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russian Federation; Angarsk State Technical University, Angarsk, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0001-8394-0054>; e-mail: vgozbenko@yandex.ru

Alexey S. Apatenko – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-2492-9274>; e-mail: a.apatenko@rgau-msha.ru

Article info

Received: 11.09.2024

Revised: 24.10.2024

Accepted: 01.11.2024

Информация о статье

Поступила в редакцию: 11.09.2024

Поступила после рецензирования: 24.10.2024

Принята к публикации: 01.11.2024