

Особенности поведения скальных пород при подземной разработке рудных месторождений

В.В. Тынченко^{1, 2, 3}, И.Ю. Матасова⁴✉, Д.Ю. Евсюков², О.С. Ермолаева⁵, О.И. Кукарцева^{1, 2}

¹ Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Российская Федерация

² Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, г. Москва, Российская Федерация

³ Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, г. Красноярск, Российская Федерация

⁴ Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, г. Новороссийск, Российская Федерация

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

✉ semigorie@mail.ru

Резюме: Статья посвящена детализации принципов геопользования, основанных на оценке и учете геомеханических особенностей поведения скальных пород при подземной разработке рудных месторождений. Проблемой добычи минерального сырья является недостаточный учет структурных факторов при назначении параметров технологии добычи руд. Целью статьи является систематизация основных положений природоохранного и ресурсосберегающего геопользования применительно к подземной разработке рудных месторождений. Статья содержит результаты обобщения теории и практики, анализ полученных экспериментальных данных и прогноз возможности их применения при подземной разработке месторождений. Обобщены основанные на учете геомеханических особенностей скальных пород принципы геопользования. Приведены сведения о теории процессов освоения запасов недр, управлении состоянием массивов и обеспечении устойчивости выработок в дискретных породах. Сформулировано условие прочности заклинивания структурных блоков пород. Рассмотрены варианты комбинирования технологий с изоляцией, закладкой и выщелачиванием руд. Рекомендована технология с выдачей на поверхность наиболее богатых руд и переработкой остальных в подземных блоках, при которой движение растворов осуществляется и контролируется с предотвращением контакта растворов с биосферой. Учет структурных факторов при назначении параметров технологии добычи руд способствует гуманизации процессов природоохранного и ресурсосберегающего геопользования.

Ключевые слова: геопользование, геомеханика, подземная разработка, рудные месторождения, структура массивов, состояние массивов

Благодарности: Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда №23 27 00438. <https://rscf.ru/project/23-27-00438/>

Для цитирования: Тынченко В.В., Матасова И.Ю., Евсюков Д.Ю., Ермолаева О.С., Кукарцева О.И. Особенности поведения скальных пород при подземной разработке рудных месторождений. *Горная промышленность*. 2024;(5S):166–171. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-5S-166-171>

Specific features of rock behaviour in underground mining of ore deposits

V.V. Tynchenko^{1, 2, 3}, I.Yu. Matasova⁴✉, D.Yu. Evsyukov², O.S. Ermolaeva⁵, O.I. Kukartseva^{1, 2}

¹ Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation

² Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

³ Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russian Federation

⁴ State Maritime University named after Admiral F.F. Ushakova, Novorossiysk, Russian Federation

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

✉ semigorie@mail.ru

Abstract: The article is focused on specifying the principles of geo-use based on assessment and accounting of geomechanical features of rock behaviour in underground mining of ore deposits. One of the issues in mining of mineral raw materials is insufficient consideration of the structural factors when designing the ore mining technology parameters. The objective of the article is to systematize the main provisions of environmental protection and resource-saving geo-use as applied to the underground mining of ore deposits. The article presents the results of generalizing the theory and practice, as well as an analysis

of experimental data obtained and a forecast of their possible application in the underground mining. Principles of geo-use are summarized based on accounting of geomechanical features of rock formations. The paper provides information regarding the theory of subsoil development processes, management of the rock mass state and ensuring the stability of excavations in discrete rocks. The strength condition is formulated for locking the structural rock blocks. Options are discussed of combining mining methods with isolation, backfilling and leaching of ores. A technology is recommended with delivery of the highest grade ores to the surface and processing of the rest in the underground blocks, in which the flow of solutions is arranged and controlled with prevention of their contact with the biosphere. Accounting for structural factors when setting the parameters of ore mining methods contributes to humanization of the processes of environmental and resource-saving geo-management.

Keywords: geological management, geomechanics, underground mining, ore deposits, structure of rock masses, condition of rock masses

Acknowledgments: The research was supported by RSF (project No. 23-27-00438).

For citation: Tynchenko V.V., Matasova I.Yu., Evsyukov D.Yu., Ermolaeva O.S., Kukartseva O.I. Specific features of rock behaviour in underground mining of ore deposits. *Russian Mining Industry*. 2024;(5S):166–171. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-5S-166-171>

Введение

В объеме добычи металлогенного минерального сырья велика доля добычи руд из массивов месторождений, которые по своим параметрам относят к сложно-структурным [1; 2]. Эти месторождения своим генезисом обязаны геотектоническим процессам, отличаются сложными геодинамическими явлениями в процессе разработки и требуют внимания к себе при проектировании и освоении [3; 4].

Рудовмещающий массив представляет собой энергетически насыщенную систему, стабильную до тех пор, пока ее не нарушают горными работами. В качестве гаранта безопасности горных работ принимается сохранность участка земной поверхности, разделяющего зону жизнедеятельности и зону добычи полезного ископаемого. Технологии, обеспечивающие сохранность земной поверхности, являются одновременно и природоохранными, и ресурсосберегающими [5–7].

Теоретически обосновано и многовековой практикой доказано, что вскрытые горными выработками породы скального типа образуют устойчивые конструкции при обнажении их горными работами при условии образования над выработкой естественного свода обрушения из заклинившихся по криволинейным поверхностям структурных отдельных пород [8].

Повышению полноты выемки сырья из напряженно-деформированных скальных массивов с учетом комплекса горно-геологических задач посвящены труды С.В. Ветрова, Е.А. Котенко, В.А. Шестакова и др. Управлению состоянием массивов использованием оптимизированных по фактору горного давления методов посвящены труды Ф.Ф. Рычик, В.И. Борщ-Компанийца, М.И. Цыгало, В.П. Волощенко и др. Условия устойчивости выработок определены работами В. Риттера, М.М. Протождяконова, А.А. Борисова и др.

В то же время сведений об особенностях поведения скальных пород при подземной разработке рудных месторождений рассматриваемого типа недостаточно. В большинстве случаев массивы рассматриваются как квазиизотропные, а напряжения в массивах не дифференцируются. Мировой опыт управления состоянием напряженно-деформированного массива сводится к следующему [9; 10]:

- параметры добычных работ определяются геомеханикой массива;
- надежным способом управления напряжениями является заполнение пустот твердеющими смесями;

- эффективность управления повышается при увеличении объемного сжатия закладки.

Целью исследований данного направления горного дела является систематизация основных положений геопользования применительно к подземной разработке представленных сложноструктурными скальными массивами рудных месторождений.

Методы

Основу методики управления разрабатываемых рудовмещающих массивов составляет оценка состояния природно-техногенной системы, стабильность которой нарушается горными работами в стадии очистной выемки. Многими исследователями в качестве гаранта безопасности окружающей среды принимается сохранность земной поверхности, разделяющей зоны обитания живого вещества и зону добычи минерального сырья.

Банк данных о массивах комплектуется путем систематизации данных геопользования в конкретных условиях разрабатываемого месторождения, получаемых в ходе комплексных исследований, инструментарий, объем и качество которых регламентируется. Возможность образования несущих конструкций при условии надежного естественного свода обрушения из заклинившихся пород определяется на стадии проектирования, уточняется в ходе разработки месторождения и используется как основание для оптимизации и корректировки показателей добычи руд. Происходящие в скальных породах процессы описываются моделями, в том числе: состояние скального массива при вмешательстве горными работами, корректировка сбалансированности массива разделением на не опасные по величине напряжений участки и др. [11–14].

Поскольку для уменьшения засорения отделенных от рудного массива руд породой желательно сохранять плоскую кровлю выработки, устойчивость горных выработок оценивается дифференцированно для применяемых систем разработки. Степень опасности технологий для окружающей среды определяется расчетами в зависимости от соотношения объемов образованных выемкой руд пустот и свойств заполнителя выработанного пространства [15–17].

На основе анализа теории и практики разработки месторождения даются рекомендации по улучшению показателей его разработки с учетом особенностей поведения

напряженно-деформированных массивов скальных пород, отличающихся от других массивов петрографической и структурной неоднородностью.

Результаты

В скальных породах разрушение пород происходит с образованием структурных блоков, которые ведут себя как жесткие тела с упругим контактированием [18–21]. Геомеханическая сбалансированность массива обеспечивается в процессе развития горных работ разделением массивов на участки, где напряжения не достигают критической величины. Для уменьшения засорения руд породой важно, чтобы кровля очистных выработок в пределах свода не обрушалась, а сохраняла плоскую форму. В однородных трещиноватых породах устойчивость кровли определяется несущей способностью элемента породной конструкции в кровле [22]. Способы управления массивом классифицируют по принципу состояния выработанного пространства (табл. 1).

Таблица 1
Классификация способов погашения пустот

Table1
Classification of void backfilling methods

Классы	Группы	Варианты
С изоляцией выработок путем их ограждения	Перемычками	Деревянными, породными, бетонными
С обрушением пород для заполнения выработанного пространства	Принудительное обрушение	Вместе с рудой или отдельно
	Управляемое самообрушение	Вместе с рудой или отдельно
С закладкой выработанного пространства компенсирующими материалами	Твердеющими смесями	Слоевые и камерные системы
	Сыпучими материалами	С поверхности и от проходки выработок
	Хвостами подземного выщелачивания	С естественной кольтмацией или с упрочнением

Методы изоляции и закладки выработанных участков в горной добыче предлагают различные подходы с разными преимуществами и недостатками. Метод изоляции направлен на отделение выработанных пространств от оставшейся полезной породы. Он обладает рядом преимуществ, которые делают его привлекательным в некоторых случаях. К числу таких преимуществ относится прежде всего меньшая стоимость по сравнению с другими методами. Однако изоляция сопряжена и с определенными рисками. Сложность контроля над стабильностью изолированного массива может привести к проблемам в случае его непредсказуемого обрушения, что угрожает безопасности персонала и окружающей среде. Дополнительными проблемами могут стать затраты на отчуждение земельных участков в зоне влияния горных работ. Особенно важны тщательная оценка геологических условий и прогноз возможных рисков обрушения пород, чтобы минимизировать потенциальные негативные последствия. Например, могут потребоваться дополнительные инженерные мероприятия, сейсмические исследования или системы мониторинга состояния массива, чтобы гарантировать долгосрочную устойчивость. Необходимость постоянного контроля

и технического обслуживания делает этот способ более сложным, чем может показаться на первый взгляд.

Закладка твердеющими смесями выработанных пространств часто используется для обеспечения устойчивости массива, но обладает рядом серьезных недостатков. Основной из них – высокая стоимость закладочных материалов. Кроме того, возможность дефицита этих материалов может стать значительным препятствием для реализации проекта. Наличие и стоимость материалов могут колебаться в зависимости от региона, что делает этот способ менее гибким и подверженным ценовым рискам. Помимо высокой стоимости, закладка может быть сложной задачей с точки зрения обеспечения качества и долгосрочной стабильности. Необходимо тщательно контролировать процесс твердения, чтобы предотвратить образование трещин, обеспечить требуемую прочность и избежать деформаций в будущем. Важно также выбрать материалы, которые подойдут конкретным геологическим условиям и не будут негативно влиять на окружающую среду.

Искусственные массивы из хвостов блокового выщелачивания – новый метод закладки, предлагающий перспективное решение. Он сочетает экологичность с экономической эффективностью. Использование отходов блокового выщелачивания в качестве закладочного материала – это не только экономически выгодно, но и способствует сокращению отходов, снижая нагрузку на окружающую среду. Однако, несмотря на преимущества, прочность искусственных массивов ограничена. Прочность полученных искусственных массивов составляет до 1 МПа, что требует тщательного проектирования и анализа для обеспечения достаточной безопасности. При этом необходимо убедиться, что природные вяжущие вещества, используемые для скрепления хвостов, обеспечивают требуемую прочность и устойчивость к различным факторам окружающей среды.

Комбинированный метод сочетания изоляции, закладки и выщелачивания позволяет оптимизировать процесс, учитывая особенности конкретных геологических условий. Этот подход позволяет снизить затраты и потенциальные риски, особенно при сложных геологических ситуациях. Комбинированные методы предполагают детальный анализ и оценку всех возможных факторов, включая потенциальные напряжения в массиве, особенности материалов и возможности модернизации технологий. Инженерное проектирование должно обеспечивать длительную стабильность и безопасность комбинированной системы. Примером может служить ситуация, когда



Рис. 1
Комбинирование технологий погашения выработанного пространства:
1 – хвосты выщелачивания;
2 – твердеющие смеси

Fig. 1
Combination of the mined-out space backfilling technologies:
1 – leaching tails;
2 – consolidating mixtures

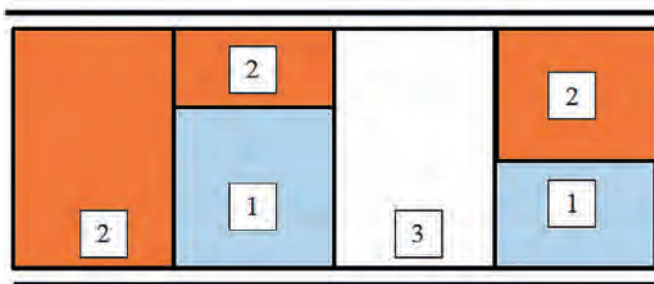


Рис. 2
Комбинирование технологий с твердеющей закладкой и хвостами выщелачивания:
1 – хвосты выщелачивания;
2 – твердеющие смеси;
3 – выработанное пространство

Fig. 2
Combination of technologies with consolidating backfill and leaching tails:
1 – leaching tails;
2 – consolidating mixtures;
3 – unfilled voids

да использование выщелачивания и закладки позволяет утилизировать отходы и одновременно решать проблему устойчивости массива.

Комбинация технологий с твердеющей закладкой и затвердевшими хвостами поясняется рис. 1.

Схема комбинирования технологий с закладкой твердеющими смесями, хвостами выщелачивания и изоляции пустот приведена на рис. 2.

Обсуждение результатов

Перспективы улучшения показателей разработки месторождений связаны с использованием единого проекта добычи руд, оптимизированного по эколого-экономическим критериям эффективности [13]. Оптимальна комбинированная технология, при которой для переработки на по-

верхность выдаются наиболее богатые руды, а остальные перерабатывают подземным выщелачиванием. При этом движение растворов осуществляется в замкнутой среде трубопроводов, что предотвращает возможность их контакта с биосферой [14; 15]. Переход закладочного массива из состояния одноосного сжатия в состояние трехосного сжатия сокращает затраты в 1,2...1,4 раза. Несущая способность материала заполнения пустот при 2–3-кратном объемном сжатии повышается по А.Л. Требукову в 2–3,7, Д.М. Бронникову – 2–3, М.Н. Цыгалову – 3,5 раза.

Так, технологии с отбойкой руды взрыванием зарядов взрывчатых веществ обеспечивают управляемость напряжениями путем варьирования параметрами буровзрывных работ. Параметрами сейсмических волн управляют, изменяя граничные условия на внешнем и внутреннем контурах разрушения и акустическую жесткость среды. Регулирование природных и техногенных напряжений в массиве позволяет комплексно улучшить показатели разработки месторождений [16]. Результаты исследования перекликаются с выводами специалистов по данному направлению горного дела [17–20].

Заключение

Главным критерием эффективности технологий добычи минерального сырья является их соответствие принципам природо- и ресурсосбережения. Наибольшие перспективы связаны с развитием специальных способов добычи, которые получают реализацию на многих крупных предприятиях. Критерием корректности технологий добычи руд является сохранность земной поверхности как гарант изолированности опасных процессов подземной разработки. Важным фактором совершенствования технологий добычи руд является учет структурных факторов при назначении их параметров.

Вклад авторов

Авторы заявляют о равноценном вкладе всех соавторов в работу.

Authors contribution

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

Конфликт интересов

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

Conflict of 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.

Список литературы / References

1. Каунг П.А., Исаков А.Е., Панфилов И.А., Тынченко В.В., Ступина А.А. Принципы формирования экологически безопасного и экономически эффективного устойчивого освоения георесурсов. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2024;(7-1):159–175. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2024_71_0_159
Kaung P.A., Isakov A.E., Panfilov I.A., Tynchenko V.V., Stupina A.A. Principles for forming environmentally safe and economically effective sustainable development of geo resources. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2024;(7-1):159–175. (In Russ.). https://doi.org/10.25018/0236_1493_2024_71_0_159
2. Рыбак Я., Хайрутдинов М.М., Конгар-Сюрюн Ч.Б., Тюляева Ю.С. Ресурсосберегающие технологии освоения месторождений полезных ископаемых. *Устойчивое развитие горных территорий*. 2021;13(3):406–415.
Rybak Ya., Khayrutdinov M.M., Kongar-Syuryun Ch.B., Tyulyayeva Yu.S. Resource-saving technologies for development of mineral deposits. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2021;13(3):406–415. (In Russ.).

3. Orlov V., Tynchenko V., Nizameeva A., Shalaeva D., Ageev D. Development of a multifunctional cross-platform system for automation of energy data and resource management. *E3S Web of Conferences*. 2023;460:07002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346007002>
4. Голик В.И., Титова А.В., Титов Г.И. К утилизации хвостов обогащения руд цветных металлов. *Горная промышленность*. 2023;(5):96–101. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-5-96-101>
Golik V.I., Titova A.V., Titov G.I. On utilization of concentration tailings of non-ferrous metal ores. *Russian Mining Industry*. 2023;(5):96–101. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-5-96-101>
5. Куликова Е.Ю., Баловцев С.В., Скопинцева О.В. Комплексная оценка геоэкологических рисков при ведении открытых и подземных горных работ. *Устойчивое развитие горных территорий*. 2024;16(1):205–216. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2024-16-1-205-216>
Kulikova E.Yu., Balovtsev S.V., Skopintseva O.V. Comprehensive assessment of geoeological risks in conducting open and underground mining. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2024;16(1):205–216. (In Russ.) <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2024-16-1-205-216>
6. 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>
7. 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>
8. Панфилова Т. А., Тынченко В. С., Кукарцев В. А., Башмур К. А., Кондратьев В. В. К концепции выщелачивания метал-лосодержащего сырья в дезинтеграторе. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2023;(11-1):239–251. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_111_0_239
Panfilova T.A., Tynchenko V.S., Kukartsev V.A., Bashmur K.A., Kondratiev V.V. To the concept of leaching metal-containing raw materials in the disintegrator. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2023;(11-1):239–251. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_111_0_239
9. Tynchenko V.S., Stashkevich A., Muzyka P., Leontieva A.A., Degtyareva K.V. Effective energy management tools: inventory management and monitoring of energy consumption by personnel. *E3S Web of Conferences*. 2023;458:01011. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202345801011>
10. Голик В. И., Кукарцев В. А., Панфилова Т. А., Тынченко В. С., Конюхов В. Ю. К механохимической активации процессов выщелачивания в дезинтеграторе. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2023;(11-1):175–189. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_111_0_175
Golik V.I., Kukartsev V.A., Panfilova T.A., Tynchenko V.S., Konyukhov V.Yu. The mechanochemical activation of leaching processes in a disintegrator. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2023;(11-1):175–189. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_111_0_175
11. Kravtsov K., Tynchenko V., Semenova E., Shalaeva D., Pinchuk I. Workflow automation and performance improvement based on PostgreSQL. *E3S Web of Conferences*. 2023;458:09022. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202345809022>
12. Pashkov E.N. An investigation into autobalancing devices with multireservoir system. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2014;66(1):012014. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/66/1/012014>
13. Konyukhov V.Yu., Oparina T.A., Matasova I.Y., Modina M.A., Martyushev N.V. Ecologization of underground coal mining by means of ash use in backfill preparation. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2024;(10):123–135. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2024_10_0_123
14. Кукарцев В.В., Кравцов К.И., Тынченко Я.А., Панфилова Т.А. Влияние горных факторов на избыточность солей и токсичность почвы в горных условиях. *Устойчивое развитие горных территорий*. 2023;15(3):784–797. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2023-15-3-784-797>
Kukartsev V.V., Kravtsov K.I., Tynchenko Ya.A., Panfilova T.A. Influence of mountain factors on salt excess and soil toxicity in mountain conditions. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2023;15(3):784–797. (In Russ.) <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2023-15-3-784-797>
15. Тынченко Я.А., Кукарцев В.В., Гладков А.А., Панфилова Т.А. Оценка качества технической воды в горнопромыш-ленном производстве на основе методов машинного обучения. *Устойчивое развитие горных территорий*. 2024;16(1):56–69. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2024-16-1-56-69>
Tynchenko Ya.A., Kukartsev V.V., Gladkov A.A., Panfilova T.A. Assessment of technical water quality in mining based on machine learning methods. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2024;16(1):56–69. (In Russ.) <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2024-16-1-56-69>
16. Vasileva V., Kukartsev V., Suprun E., Shalaeva D., Ageev D. Integration of automated information systems and architectural solutions in industrial enterprises. *E3S Web of Conferences*. 2023;458:09021. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202345809021>
17. Kukartsev V.A., Trunova A.I., Kukartsev V.V., Tynchenko V.S., Kurashkin S.O., Tynchenko Y.A. et al. Increasing the efficiency of synthetic iron production by the use of new kit lining. *Metals*. 2023;13(7):1184. <https://doi.org/10.3390/met13071184>
18. 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>

19. Tananykhin D., Korolev M., Stecyuk I., Grigorev M. An Investigation into current sand control methodologies taking into account geomechanical, field and laboratory data analysis. *Resources*. 2021;10(12):125. <https://doi.org/10.3390/resources10120125>
20. Tananykhin D., Palyanitsina A., Rahman A. Analysis of production logging and well testing data to improve the development system for reservoirs with complex geological structure. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management*. 2020;7(4):629–648.
21. Клюев А.В., Кашапов Н.Ф., Клюев 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. Клюев А.В., Кашапов Н.Ф., Клюев С.В., Золотарева С.В., Щечкина 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. <https://doi.org/10.58224/2618-7183-2023-6-2-5-18>

Информация об авторах

Тынченко Валерия Валериевна – кандидат технических наук, доцент, кафедра программной инженерии, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Российская Федерация; Центр дополнительного образования, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, г. Москва, Российская Федерация; кафедра информатики и вычислительной техники, Сибирский государственный университет науки и технологий им. акад. М.Ф. Решетнева, г. Красноярск, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-9701-7460>; e-mail: 051301@mail.ru

Матасова Ирина Юрьевна – старший преподаватель, Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, г. Новороссийск, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-7911-6529>; e-mail: semigorie@mail.ru

Евсюков Дмитрий Юрьевич – НОЦ «Технологии искусственного интеллекта», Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, Российская Федерация; e-mail: evsjob@yandex.ru

Ермолаева Ольга Сергеевна – кафедра прикладной информатики, Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, г. Москва, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0003-4251-2402>; e-mail: ol_ermolaeva@rhau-msha.ru

Кукарцева Оксана Игоревна – лаборатория биотопливных композиций, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Российская Федерация; Центр дополнительного образования, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: okukartseva@sfu-kras.ru

Information about the authors

Valeria V. Tynchenko – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department of Program Engineering, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation; Center for Continuing Education, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation; Department of Informatics and Computer Engineering, Institute of Computer Science and Telecommunications, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-9701-7460>; e-mail: 051301@mail.ru

Irina Yu. Matasova – State Maritime University named after Admiral F.F. Ushakova, Novorossiysk, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-7911-6529>; e-mail: semigorie@mail.ru

Dmitry Yu. Evsyukov – Artificial Intelligence Technology Scientific and Education Center, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation; e-mail: evsjob@yandex.ru

Olga S. Ermolaeva – Department of Applied Informatics, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0003-4251-2402>; e-mail: ol_ermolaeva@rhau-msha.ru

Oksana I. Kukartseva – Laboratory of Biofuel Compositions, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation; Center for Continuing Education, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation; e-mail: okukartseva@sfu-kras.ru

Article info

Received: 27.09.2024

Revised: 22.10.2024

Accepted: 25.10.2024

Информация о статье

Поступила в редакцию: 27.09.2024

Поступила после рецензирования: 22.10.2024

Принята к публикации: 25.10.2024