

Комбинированные технологии активации минерального сырья

В.И. Голик^{1,2}✉, А.В. Титова³

¹Северо-Кавказский государственный технологический университет, г. Владикавказ, Российская Федерация

²Геофизический институт Владикавказского научного центра РАН, г. Владикавказ, Российская Федерация

³Государственный геологический музей им. В.И. Вернадского РАН, г. Москва, Российская Федерация

✉ v.i.golik@mail.ru

Резюме: Актуальность. Успех совершенствования технологий подготовки руд связан с активацией минерального сырья в мельницах, в том числе мельницах ударного действия – дезинтеграторах. Принципиально новый подход к технологии переработки руд включает комбинирование методов измельчения в мельницах и других активаторах. Вопросы повышения активности веществ на основе комбинирования формируют актуальную научно-производственную задачу.

Целью исследований феномена комбинированной активации является поиск возможности повышения уровня активации, обеспечение устойчивости приобретенной активности и установление закономерности связей между процессами активации и технологическими процессами использования минерального сырья.

Объектами исследования являются продукты разработки месторождений твердого минерального сырья различных горнодобывающих отраслей народного хозяйства.

Методы. Лабораторный, полупромышленный и промышленный эксперименты с использованием усовершенствованного оборудования для активации минерального сырья.

Результаты. Детализированы понятия «механическая активация» в мельницах и «активация большой механической энергией» в дезинтеграторе. Дана оценка направлениям совершенствования мельниц. Приведены результаты механохимической активации порошков-оксидов в планетарной центробежной мельнице «Активатор-2с». Описана практика активации минерального сырья с комбинированием активаторов различного типа. Установлено, что эффективность комбинирования мельниц зависит от исходной крупности измельчаемого материала, и рекомендованы варианты оборудования в зависимости от этого. Показано, что комбинирование барабанной и вибрационной мельниц снизило энергоёмкость получения продукта. Алгоритм комбинированной активации минерального сырья поясняется на примере примененной на руднике технологии, которая включает в себя измельчение, смешение вяжущих, инертных заполнителей и затворителя, а также транспортировку бетонной смеси к месту использования. В качестве количественного показателя активации предложены эквивалент активности или пропорциональное соотношение комбинируемых компонентов. Эффективность использования твердого минерального сырья повышается при его подготовке в активаторах.

Ключевые слова: минеральное сырье, активация, мельница, дезинтегратор, измельчение, комбинирование

Для цитирования: Голик В.И., Титова А.В. Комбинированные технологии активации минерального сырья. *Горная промышленность*. 2021;(5):100–105. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-5-100-105.

Combined activation technologies mineral raw materials

V.I. Golik^{1,2}✉, A.V. Titova³

¹North Caucasus State Technological University, Vladikavkaz, Russian Federation

²Geophysical Institute of Vladikavkaz Scientific Center, Vladikavkaz, Russian Federation

³V.I. Vernadsky State Geological Museum of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

✉ v.i.golik@mail.ru

Abstract: Relevance. The efficiency of using the products of subsoil exploitation is a factor in strengthening the mineral resource base of the mining industry. The success of improving ore preparation technologies is associated with the activation of mineral raw materials in mills, including impact mills – disintegrators. A fundamentally new approach to ore processing technology includes a combination of grinding methods in mills and other activators. The issues of increasing the activity of substances on the basis of combination form an urgent scientific and industrial problem.

The aim of the study of the phenomenon of combined activation is to search for the possibility of increasing the level of activation, to ensure the stability of the acquired activity and to establish patterns of relationships between the activation processes and the technological processes of using mineral raw materials.

Objects: products of the development of deposits of solid mineral raw materials in various mining sectors of the national economy.

Methods: Laboratory, semi-industrial and industrial experiment using improved equipment for the activation of mineral raw materials.

Results. The concepts of “mechanical activation” in mills and “activation with large mechanical energy” in a disintegrator are detailed. An assessment is given to the directions of improving the mills. The results of mechanochemical activation of powders - oxides in a planetary centrifugal mill “Aktivator-2s” are given. The practice of activating mineral raw materials with a combination of activators of various types is described. It has been established that the efficiency of combining mills depends on the initial size of the crushed material and equipment options are recommended depending on this. It is shown that the combination of drum and vibration mills reduced the energy consumption of the product. The results of the combination and the vibrating mill in the technological chain of the concrete complex are presented. The algorithm for the combined activation of mineral raw materials is illustrated by the example of the technology applied at the mine, which includes grinding, mixing binders, inert aggregates and grout, as well as transporting the concrete mixture to the place of use. As a quantitative indicator of activation, an equivalent of activity or a proportional ratio of the combined components is proposed. The efficiency of using solid mineral raw materials increases when it is prepared in activators.

Keywords: mineral raw materials, activation, mill, disintegrator, grinding, combining

For citation: Golik V.I., Titova A.V. Combined activation technologies mineral raw materials. *Gornaya promyshlennost = Russian Mining Industry*. 2021;(5):100–105. (In Russ.) DOI: 10.30686/1609-9192-2021-5-100-105.

Введение

Возрастающие потребности в минеральном сырье, уменьшение запасов месторождений полезных ископаемых в удобных для эксплуатации районах, усложнение условий добычи с глубиной, ужесточение природоохранных требований требуют новых подходов к поиску новых технических и технологических решений проблемы обеспеченности запросов промышленности металлами [1–4]. Одним из направлений решения проблемы является совершенствование способов подготовки минерального сырья к дальнейшему использованию на стадии горно-обогатительного передела, поскольку процессы дробления и измельчения исходных материалов приоритетны во многих производствах, например, в производстве бетонов и извлечении металлов выщелачиванием [5–7].

Качество минерального сырья повышают в процессе его активации. Феномен активации заключается в измельчении материалов под воздействием импульсов с разрушением вещества и обнажением его активной поверхности. Люди тысячи лет используют при изготовлении предметов своего обихода давление, температуру и измельчение, а с прошлого века используют феномен активации вещества механической энергией при обработке быстролетящими ударами с большой скоростью. Эффективность активации оценивают по увеличению поверхности вещества и величине затраченной на это энергии. Продуктом активации является уменьшение тонины помола, ускорение химических реакций, усиление каталитических и физико-технических свойств и др. Механизм механохимических реакций описывается моделью магма-плазмы. Влияние механической активации на активность материала непостоянно и убывает со временем, что объясняется его релаксационными свойствами. Задачи исследований феномена активации включают в себя [7–10]:

- поиск возможности повышения уровня активации веществ с помощью механических и энергетических полей;
- обеспечение устойчивости эффекта механической активации;
- установление связей между феноменом активации и технологическими процессами для рационализации технологических процессов.

Уменьшение объемов хранения продуктов добычи и переработки руд на земной поверхности является природосберегающим мероприятием, важность которого трудно переоценить [11–13].

Методы исследования

Процессы активации материала при измельчении описываются законами типа Гриффитса. В качестве исследуемого материала выбирают отсеvy горных пород. Для определения параметров движения применяют преимущественно косвенные методы. Для оптимизации числа влияющих на энергоёмкость мельницы факторов их классифицируют по уровню значимости с определением коэффициентов регрессии и проверкой на значимость по критериям Кохрена и Стьюдента. Количество опытов определяют методом Бокса-Уилсона с использованием матрицы эксперимента. Уравнение регрессии определяется путем обобщения влияния отдельных факторов на энергоёмкость мельницы.

Результаты механоактивации

В современных производствах мелкодисперсной минеральной продукции широкое применение находят мельницы, преимуществом которых является возможность получения однородного по крупности продукта при контролируемом расходе энергии [14–16]. Основным направлением совершенствования мельниц является увеличение размеров их помольных камер, чему препятствует рост энергозатрат, опережающий повышение производительности.

К таким решениям по барабанным мельницам относятся варьирование вида и формы футеровки помольной камеры, например, ступенчатой футеровки с повышением энергии шаровой загрузки или повышением угловой скорости вращения барабана мельницы с понижением коэффициента заполнения камеры мельницы. Вибромельницы совершенствуют интенсификацией воздействия мелющих тел на измельчаемый материал, например, обеспечением передачи энергии от перегородок вглубь шаровой загрузки в наклонных камерах. Перспективны режимы с большой амплитудой колебаний помольного барабана. Планетарная мельница совершенствуется в направлении непрерывной загрузки помольных камер. Общей тенденцией совершенствования мельниц является интенсификация воздействием мелющих тел на измельчаемый материал без увеличения энергоёмкости процесса.

Проблема разрушения горных пород при динамическом нагружении связана с совершенствованием импульсных методов создания интенсивных нагрузок в процессах дробления и измельчения. Разрушение тела – результат про-

изводимой за счет упругой энергии деформации работы. Результаты измельчения являются определяющими в технологических процессах, например, при подготовке руд для выщелачивания.

Методом механоактивации получены порошок гафната лантана с размерами частиц 50–100 нм и порошок гафната европия с размерами частиц 40–70 нм.

Повышение площади взаимодействия кристаллов и нарушение структуры поверхности зерен повышает эффективность поглотителей. Механохимическая активация позволяет создавать материалы с особыми физико-химическими свойствами и получать более дисперсные соединения.

Механохимическая активация порошков-оксидов проводилась в планетарной центробежной мельнице «Активатор-2с» с параметрами: частота вращения диска 600–900 об/мин; частота вращения барабанов 1000–1800 об/мин; соотношение массы размольных тел к массе шихты 35–45 : 1; давление аргона в барабанах 300–500 кПа; продолжительность синтеза 5–180 мин. Сведения об активированных материалах приведены в табл.1.

Таблица 1
Исходные свойства порошков

Table 1
Initial properties of powders

Оксиды лантана	Примеси, %	Форма	Плотность, г/см ³	Размер, мкм
Диоксид гафния	0,4	Пластина	1,87	200–400
Оксид европия	0,4	Осколки	0,95	1–3
Оксид лантана	0,3	Осколки	0,89	5–10

Образцы прессовали на прессе 2ПГ – 125 с усилием 50 т. Диаметр матрицы 12 мм, давление от 100 до 800 МПа с шагом в 100–200 МПа, масса навески – 0,5 г. Образцы спекали в муфельной электропечи при 1150°С с выдержкой в течение часа и охлаждением в печи.

Гранулометрический состав порошкового материала исследовали на лазерном приборе FRITSCHE ANALYSETTE 22 MicroTecPlus (Германия). Структуру и свойства синтезированных оксидов изучали методом СЭМ на электронном микроскопе.

Механохимически активированный порошок гафната европия сложен частицами размерами 40–70 нм, объединенными в агломераты 300–400 нм, а порошок гафната лантана имел размеры частиц 50–100 нм, в агломератах – до 200–400 нм.

Технологические свойства механосинтезированных порошков гафната лантана и европия представлены в табл. 2.

Таблица 2
Свойства активированных порошков

Table 2
Properties of activated powders

Порошки	Плотность, г/см ³	Удельная поверхность, м ² /г	Размер агломератов, нм	Размер частиц, нм
Оксид европия	1,75–1,77	18–26	300–400	40–70
Оксид лантана	1,85–1,87	16–24	200–400	50–100

Превращение исходных оксидов редкоземельных металлов в нанокристаллический сложный оксид происходит в течение 45–60 мин. После механохимической активации в течение 40–60 мин частицы гафната лантана и европия содержатся практически в стехиометрическом соотношении.

Перспективы измельчения минерального сырья включают в себя комбинирование активаторов различного типа.

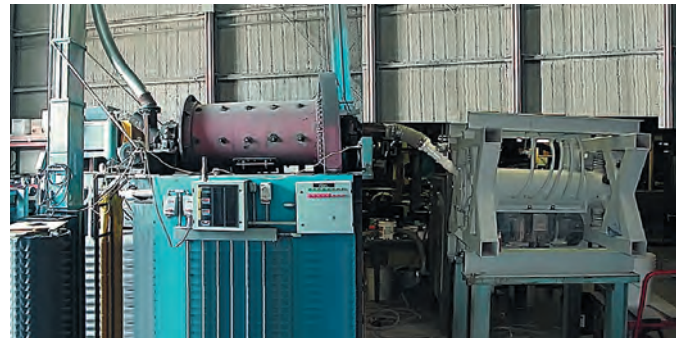


Рис. 1
Промышленная установка с комбинированием мельниц

Fig. 1
Industrial plant with mill combination

Таблица 3
Характеристика комбинируемых активаторов

Table 3
Characteristics of combined activators

Параметры	Значение
Шаровая мельница	
Режим работы	Непрерывный
Объём помольных камер, м ³	75
Мощность электродвигателя, кВт	80
Производительность, т/ч	80
Вибрационная мельница	
Режим работы	Зарезонансный
Объём помольных камер, м ³	0.15
Мощность электродвигателя, кВт	15
Производительность, т/ч	80

Промышленная установка для получения доломитовой муки (Пенсильвания, США) комбинировала барабанную мельницу фирмы «Fuller» (США) и вибрационную мельницу фирмы Micro Grinding Systems, Inc., США (рис. 1). Характеристика установки приведена в табл. 3.

При комбинировании барабанной и вибрационной мельниц, несмотря на повышенное энергопотребление вибрационной мельницей, энергоёмкость получения продукта была снижена в 1,2 раза.

В результате исследования установлено, что эффективность комбинирования мельниц зависит от исходной крупности измельчаемого материала. Для измельчения частиц размером 2–5 мм целесообразно использовать барабанную мельницу, а для активации материала размером 1–2 мм – вибрационную мельницу, так как энергия её шаров меньше, чем в барабанной мельнице.

Дезинтегратор ДУ-65 и вибромельницу МВВ-01 комбинировали в технологической цепи бетонного комплекса (рис. 2). Характеристика установки приведена в табл.4.

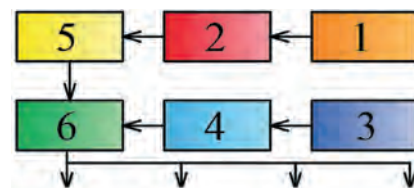


Рис. 2
Закладочный комплекс с комбинированием мельниц:
1 – шлак; 2 – дезинтегратор;
3 – цемент; 4 – конвейер;
5 – вибромельница;
6 – смеситель

Fig. 2
Stacking complex with a combination of mills:
1 – slag; 2 – disintegrator;
3 – cement; 4 – conveyor;
5 – vibrating mill;
6 – mixer

Таблица 4
Характеристика
комбинируемых активаторов

Параметры	Значение
Дезинтегратор	
Размер куска питания, мм	20
Суммарная мощность привода, кВт	450
Выход фракций менее 74 мкм, %	50–55
Производительность, т/ч	24
Вибромельница	
Размер куска питания, мм	–10
Мощность привода, кВт	30
Выход фракций менее 74 мкм, %	70
Производительность, т/ч	10

Table 4
Characteristics of combined
activators

Резервом повышения эффективности подготовки сырья является комбинированное использование методов активации в определенной последовательности, которые в совокупности усиливают качественные характеристики минерального сырья на этапах его использования (рис. 3). Технический результат комбинированной активации материала поясняется на примере технологии приготовления бетонной смеси, которая включает в себя измельчение, смещение вяжущих, инертных заполнителей и затворителя, а также транспортировку смеси к месту назначения (рис. 3).

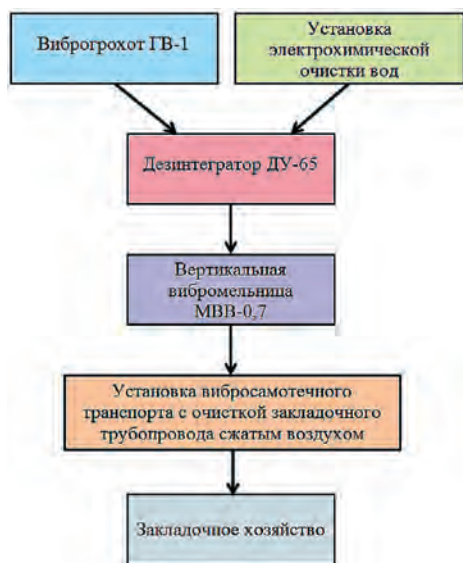


Рис. 3
Схема комбинированной
активации при изготовлении
бетонной смеси

Fig. 3
Scheme of combined
activation in the manufacture
of concrete mix

На руднике Шокпак – Камышовое (Казахстан) доменные шлаки 1 через лоток 5 поступали в дезинтегратор 2, куда подавали и электрохимически активированную воду 4. После активации вяжущего в дезинтеграторе 2 его подавали в вибромельницу 3 для усиления и закрепления эффекта приобретенной в дезинтеграторе активации. Разгрузку вибромельницы 3 производили в смеситель 10, куда при очистке трубопровода подавали и воду из бака 9. Из смесителя 10 через емкость 11 смесь поступала в трубопровод 12 с вибраторами 14 на виброопорах 13, а затем к месту использования 15. Цемент со склада 5 подавали в силос 6 и

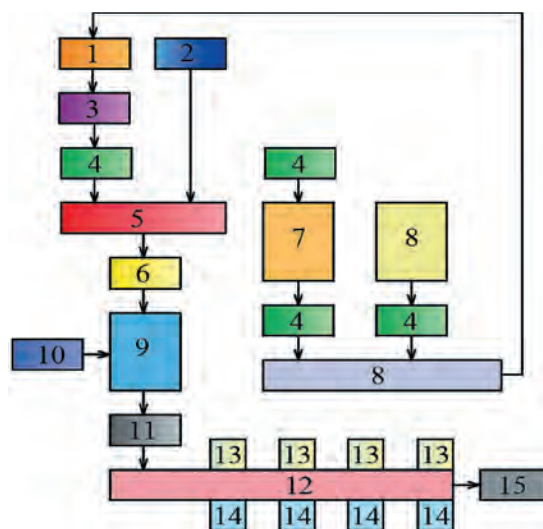


Рис. 4
Схема комбинированной
активации при изготовлении
бетона

Fig. 4
Combined activation scheme
for concrete making

через систему дозаторов 7 на транспортер 8 для подачи в смеситель 10 (рис. 4).

В качестве критерия эффективности процесса используется эквивалент активности или соотношение активированной вяжущей добавки и товарного цемента, расходуемых на приобретение одинаковой прочности при равных прочих условиях. В конкретном случае эквивалентом 1 кг портландцемента марки М 400 являлось 6,0 кг активированного доменного шлака. Способы активации, включающие группу комбинированных вариантов, сведены в табл. 5.

Таблица 5
Типизация способов активации

Table 5
Typification of activation
methods

Тип	Активаторы	Варианты
Механоактивация	Мельницы	Барабанные, вибрационные, планетарные и др.
	Дезинтеграторы	В присутствии воды и по безводной схеме
	Дробилки	Щековые, конусные, молотковые и др.
Виброактивация	Вибросмесители	Горизонтальные и вертикальные
	Вибромельницы	
	Турбулентные	
	Виброгрохоты	С электро- и пневмовозмущением
	Вибротранспортные установки	
Электроактивация	Электромагнитные	Омагничиватели трансформаторного типа и немагнитные прокладки в магнитопроводе
	Электрохимические	Электродиализеры и диафрагменные электролизеры
Химическая активация	Поверхностно-активные вещества	Гидрофильные, гидрофобные и др.
	Реагенты	В зависимости от вида материала
Комбинированные	Совмещение двух или нескольких активаторов	Одного или нескольких классов

Результаты исследования корреспондируют с результатами специалистов по рассматриваемому направлению горного дела [17–20].

Заключение

Эффективность использования твердого минерально-го сырья повышается при его подготовке в активаторах-мельницах. Оптимизация параметров повышения активности веществ и установление зависимости между параметрами активации и последующих физико-химических и технологических процессов является актуальной научно-технической проблемой энергоинфузиологии.

Перспективы развития рассматриваемого направления горного дела связаны с повышением уровня активации материалов, обеспечением устойчивости эффекта механической активации во времени и взаимодействия параметров активации и процессов использования активированного сырья в производстве.

Список литературы

1. Титова А.В., Наумов Г.Б. Экологические проблемы современности. *Горная промышленность*. 2018;(2):75–78. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2018-2-138-75-78>
2. Дмитрак Ю.В., Камнев Е.Н. АО «Ведущий проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт промышленной технологии» – путь длиной в 65 лет. *Горный журнал*. 2016;(3):6–12. <https://doi.org/10.17580/gzh.2016.03.01>
3. Ключев Р.В., Босиков И.И., Майер А.В., Гаврина О.А. Комплексный анализ применения эффективных технологий для повышения устойчивого развития природно-технической системы. *Устойчивое развитие горных территорий*. 2020;(2):283–290. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2020-12-2-283-290>
4. Ben-Awuah E., Richter O., Elkington T., Pourrahimian Y. Strategic mining options optimization: Open pit mining, underground mining or both. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2016;26(6):1065–1071. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2016.09.015>
5. Комащенко В. И. Эколого-экономическая целесообразность утилизации горнопромышленных отходов с целью их переработки. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2015;(4):23–30.
6. Domingues M.S.Q., Baptista A.L.F., Diogo M.T. Engineering complex systems applied to risk management in the mining industry. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2017;27(4):611–616. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2017.05.007>
7. Tayebi-Khorami M., Edraki M., Corder G., Golev A. Re-thinking mining waste through an integrative approach led by circular economy aspirations. *Minerals*. 2019;9(5):1–13. <https://doi.org/10.3390/min9050286>
8. Дмитрак Ю.В., Вержанский А.П. Тенденции применения оборудования для тонкого измельчения горных пород. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2000;(6):184–188.
9. Голик В.И., Исмаилов Т.Т. *Управление состоянием массива*. М.: Мир горной книги; 2005. 374 с.
10. He M., Xie H., Peng S., Jiang Y.-D. Study on rock mechanics in deep mining engineering. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*. 2005;24(16):2804–2813.
11. Петров Ю.С., Хадзарагова Е.А., Соколов А.А., Шарипзянова Г.Х., Таскин А.В. Основные принципы получения, передачи и хранения информации о параметрах техногенного цикла горно-металлургического предприятия. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2020;(11-1):178–188. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-111-0-178-188>
12. Wang Li, Zhang Xiu-feng. Correlation of ground surface subsidence characteristics and mining disasters under super-thick overlying strata. *Journal of China Coal Society*. 2009;34(8):1048–1051.
13. Земсков А.Н., Лискова М.Ю. Пути обеспечения безопасных условий труда горняков на основе автоматизации контроля производственных процессов. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2018;(1):82–88.
14. Burdzieva O.G., Zaalishvili V.B., Beriev O.G., Kanukov A.S., Maysuradze M.V. Mining impact on environment on the North Ossetian territory. *International Journal of GEOMATE*. 2016;10(1):1693–1697. Available at: https://www.geomatejournal.com/sites/default/files/articles/1693-1697-5327-Zaalishvili_Feb-2016.pdf
15. Голик В.И., Пагиев К.Х., Габараев О.З. *Энергосберегающие технологии добычи руд*. Владикавказ; 1995. 375 с.
16. Качурин Н.М., Стась Г.В., Калаева С.З., Корчагина Т.В. Геоэкологическая оценка эффективности защиты окружающей среды и природоохранительных мероприятий при подземной добыче угля. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2016;(3):40–63.
17. Gosset D. Absorber materials for Generation IV reactors. In: Yvon P. (ed.) *Structural Materials for Generation IV Nuclear Reactors*. Elsevier; 2017. P. 533–567.
18. Голик В.И., Полухин О.Н. *Природоохранные геотехнологии в горном деле*. Белгород: НИУ «БелГУ»; 2013. 282 с.
19. Рьльникова М.В., Владимиров Д.Я., Пыталев И.А., Попова Т.М. Роботизированные геотехнологии как путь повышения эффективности и экологизации освоения недр. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2017;(1):92–101.
20. Бурмистров К.В., Осинцев Н.А. Принципы устойчивого развития горнотехнических систем в переходные периоды. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2020;331(4):179–195. Режим доступа: http://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/58645/1/bulletin_tpu-2020-v331-i4-17.pdf

References

1. Titova A.V., Naumov G.B. Environmental problems of the present. *Gornaya promyshlennost = Russian Mining Industry*. 2018;(2):75–78. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2018-2-138-75-78>
2. Dmitrak Yu.V., Kamnev E.N. The Leading Research and Design Institute of Industrial Technologies – A long way in 65 years. *Gornyi Zhurnal*. 2016;(3):6–12. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2016.03.01>
3. Klyuev R.V., Bosikov I.I., Mayer A.V., Gavrina O.A. Comprehensive analysis of the effective technologies application to increase sustainable development of the natural-technical system. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2020;(2):283–290. (In Russ.) <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2020-12-2-283-290>

4. Ben-Awuah E., Richter O., Elkington T., Pourrahimian Y. Strategic mining options optimization: Open pit mining, underground mining or both. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2016;26(6):1065–1071. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2016.09.015>
5. Komashchenko V.I. Environmental-economical expediency of utilizing mining-industrial wastes for their converting. *Izvestija Tulskogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle = News of the Tula State University. Sciences of Earth*. 2015;(4):23–30. (In Russ.)
6. Domingues M.S.Q., Baptista A.L.F., Diogo M.T. Engineering complex systems applied to risk management in the mining industry. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2017;27(4):611–616. <https://doi.org/10.1016/J.IJMST.2017.05.007>
7. Tayebi-Khorami M., Edraki M., Corder G., Golev A. Re-thinking mining waste through an integrative approach led by circular economy aspirations. *Minerals*. 2019;9(5):1–13. <https://doi.org/10.3390/min9050286>
8. Dmitrak Yu.V., Verzhansky A.P. Trends in the use of equipment for fine grinding of rocks. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2000;(6):184–188. (In Russ.)
9. Golik V.I., Ismailov T.T. *Array state management*. Moscow: Mir gornoy knigi; 2005. 374 p. (In Russ.)
10. He M., Xie H., Peng S., Jiang Y.-D. Study on rock mechanics in deep mining engineering. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*. 2005;24(16):2804–2813.
11. Petrov Yu.S., Khadzharagova E.A., Sokolov A.A., Sharipzyanova G.Kh., Taskin A.V. Acquisition, transmission and storage of information on production-induced cycle in mining and metallurgy. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(11-1):178–188. (In Russ.) <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-111-0-178-188>
12. Wang Li, Zhang Xiu-feng. Correlation of ground surface subsidence characteristics and mining disasters under super-thick overlying strata. *Journal of China Coal Society*. 2009;34(8):1048–1051.
13. Zemskov A.N., Liskova M.Yu. Ways of providing safe working conditions of miners on the basis of automation controlling productions. *Izvestija Tulskogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle = News of the Tula State University. Sciences of Earth*. 2018;(1):82–88. (In Russ.)
14. Burdzieva O.G., Zaalishvili V.B., Beriev O.G., Kanukov A.S., Maysuradze M.V. Mining impact on environment on the North Ossetian territory. *International Journal of GEOMATE*. 2016;10(1):1693–1697. Available at: https://www.geomatejournal.com/sites/default/files/articles/1693-1697-5327-Zaalishvili_Feb-2016.pdf
15. Golik V.I., Pagiev K.H., Gabaraev O.Z. *Energy-Saving technologies of production of ore*. Vladikavkaz; 1995. 375 p. (In Russ.)
16. Kachurin N.M., Stas G.V., Kalaeva S.Z., Korchagina T.V. Environmental evaluating efficiency of environmental protection and environmental measures by underground mining. *Izvestija Tulskogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle = News of the Tula State University. Sciences of Earth*. 2016;(3):40–63. (In Russ.)
17. Gosset D. Absorber materials for Generation IV reactors. In: Yvon P. (ed.) *Structural Materials for Generation IV Nuclear Reactors*. Elsevier; 2017. P. 533–567.
18. Golik V.I., Polukhin O.N. *Environmental geotechnologies in mining*. Belgorod: Belgorod State University; 2013. 282 p. (In Russ.)
19. Ryl'nikova M.V., Vladimirov D.Y., Pytalev I.A., Popova T.M. Robotic geotechnologies as way of improving efficiency and ecologization of mineral resource management. *Journal of Mining Science*. 2017;53(1):84–91. <https://doi.org/10.1134/S1062739117011884>
20. Burmistrov K.V., Osintsev N.A. Principles of sustainable development of mining and technical systems in transitional periods. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2020;331(4):179–195. (In Russ.) Available at: http://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/58645/1/bulletin_tpu-2020-v331-i4-17.pdf

Информация об авторах

Гolik Владимир Иванович – доктор технических наук, профессор кафедры горного дела, Северо-Кавказский государственный технологический университет, г. Владикавказ, Российская Федерация; главный научный сотрудник Геофизического института Владикавказского научного центра, г. Владикавказ, Российская Федерация, e-mail: vi.golik@mail.ru

Титова Ася Владимировна – доктор технических наук, заместитель директора по развитию, Государственный геологический музей им. В.И. Вернадского РАН, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: vikt_s@mail.ru

Information about the authors

Vladimir I. Golik – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Mining, North Caucasus State Technological University, Vladikavkaz, Russian Federation; Chief Researcher of the Geophysical Institute of Vladikavkaz Scientific Center, Russia, Vladikavkaz, Russian Federation, e-mail: vi.golik@mail.ru

Asya V. Titova – Doctor of Technical Sciences, Deputy Director for Development, V.I. Vernadsky State Geological Museum of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation; e-mail: vikt_s@mail.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 28.09.2021

Поступила после рецензирования: 17.10.2021

Принята к публикации: 19.10.2021

Article info

Received: 28.09.2021

Revised: 17.10.2021

Accepted: 19.10.2021