

## К МЕХАНОХИМИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ ПРОЦЕССОВ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ В ДЕЗИНТЕГРАТОРЕ

В.И. Голик<sup>1,2</sup>, В.А. Кукарцев<sup>3</sup>, Т.А. Панфилова<sup>3</sup>, В.С. Тынченко<sup>3,4,5</sup>, В.Ю. Конюхов<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Московский технологический университет, Москва, Россия

<sup>2</sup> Северо-Кавказский государственный технологический университет,  
Владикавказ, Россия, e-mail: v.i.golik@mail.ru

<sup>3</sup> Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

<sup>4</sup> Московский государственный технический университет  
имени Н.Э. Баумана, Москва, Россия

<sup>5</sup> Сибирский государственный университет науки и технологий  
им. М.Ф. Решетнёва, Красноярск, Россия

<sup>6</sup> Иркутский Национальный исследовательский технический университет,  
Иркутск, Россия

**Аннотация:** Рассмотрена проблема полноты использования извлеченного из недр сырья при минимизации ущерба окружающей среде. Детализировано одно из направлений глубокого извлечения металлов из минерального сырья путем выщелачивания металлов с активацией процессов в скоростной мельнице – дезинтеграторе. Дана справка об использовании первого дезинтегратора в горном производстве. Обозначена цель исследования, как оптимизация конструкции скоростного активатора – дезинтегратора. Охарактеризован феномен изменения свойств вещества при обработке в дезинтеграторе. Приведены результаты исследования механизма повышения активности при выщелачивании хвостов в барабанной мельнице. Приведены результаты исследования показателей механохимической активации процессов выщелачивания хвостов в высокоскоростных активаторах. Систематизированы количественные значения параметров извлечения металлов в раствор при выщелачивании хвостов обогащения в лабораторном дезинтеграторе в сравнении с агитационным выщелачиванием. Предложена новая конструкция дезинтегратора с совмещением механической активации и теплового воздействия. Рассмотрена возможность применения дезинтеграторной технологии при проходке вертикального шахтного ствола. Приведены результаты механохимической активации процессов выщелачивания руд и угля с извлечением металлов до 70% от их содержания в хвостах. Обозначены проблемы освоения технологии с механохимической активацией процессов при глубокой утилизации хвостов обогащения.

**Ключевые слова:** руда, обогащение, хвосты, дезинтегратор, выщелачивание, металл, активация, механохимия, экология, отходы, снижение отходов, устойчивая добыча ресурсов, промышленное развитие.

**Для цитирования:** 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. – С. 175-189. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_111\_0\_175.

---

## The mechanochemical activation of leaching processes in a disintegrator

V.I. Golik<sup>1,2</sup>, V.A. Kukartsev<sup>3</sup>, T.A. Panfilova<sup>3</sup>, V.S. Tynchenko<sup>3,4,5</sup>, V.Yu. Konyukhov<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia

<sup>2</sup> North Caucasus State Technological University, Vladikavkaz, Russia, e-mail: v.i.golik@mail.ru

<sup>3</sup> Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

<sup>4</sup> Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

<sup>5</sup> Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia

<sup>6</sup> Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

---

**Abstract:** The article is devoted to the problem of the completeness of the use of raw materials extracted from the subsoil while minimizing damage to the environment. One of the directions of deep extraction of metals from mineral raw materials by leaching metals with activation of processes in a high-speed mill-disintegrator is detailed. A certificate is given on the use of the first disintegrator in mining. The purpose of the study is indicated as the optimization of the design of a high-speed activator – disintegrator. The phenomenon of changing the properties of a substance during processing in a disintegrator is characterized. The results of the study of the mechanism of increasing activity during the leaching of tailings in a drum mill are presented. The results of a study of indicators of mechanochemical activation of tailings leaching processes in high-speed activators are presented. The quantitative values of the parameters of extraction of metals into solution during leaching of enrichment tailings in a laboratory disintegrator are systematized in comparison with agitation leaching. A new design of the disintegrator with a combination of mechanical activation and thermal exposure is proposed. The possibility of using the disintegrator technology when driving a vertical mine shaft is considered. The results of mechanochemical activation of ore and coal leaching processes with extraction of metals up to 70% of their content in tailings are presented. The problems of mastering the technology with mechanochemical activation of processes with deep utilization of tailings are outlined.

**Key words:** ore, enrichment, tailings, disintegrator, leaching, metal, activation, mechanochemistry, ecological, waste, zero waste, sustainable resource use, industrial development.

**For citation:** Golik V. I., Kukartsev V. A., Panfilova T. A., Tynchenko V. S., Konyukhov V. Yu. The mechanochemical activation of leaching processes in a disintegrator. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023;(11-1):175-189. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_111\_0\_175.

---

### Введение

В горном производстве увеличивается актуальность полноты использования извлеченного из недр сырья при условии защиты окружающей природной среды от негативного технологического воздействия.

В результате смены экономической системы хозяйствования России изменилась обеспеченность промышленности металлическим сырьем и обозначились

недостатки минерально-сырьевой базы производства металлов [1 – 4].

Ослабла обеспеченность медеплавильных заводов Урала собственным сырьем. С выбытием из эксплуатации Ждановского карьера недостаток в сырье будут испытывать металлургические комбинаты Кольского полуострова [5, 6]. Без собственной минерально-сырьевой базы работают свинцово-цинковые, оловянные и вольфрамовые подотрасли.

Можно прогнозировать, что в недалекой перспективе существенную роль будут играть техногенные месторождения [7, 8]. В медной подотрасли Урала накоплено 220 млн т хвостов обогащения, в которых среднее содержание меди близко к кондиционному. Хвосты обогащения руд Норильских месторождений [9] содержат доступные для современных технологий запасы дорогих и дефицитных металлов. На Тырныаузском комбинате вольфрамово-молибденовые некондиционные руды содержат 2/3 добываемого металла и формируют техногенное месторождение [10, 11].

В некоторых подотраслях промышленности запасы техногенных руд равновелики запасам новых месторождений.

Горнопромышленные отходы используются как сырье для строительства в объеме, не превышающем 10% годового объема их образования.

Внимание к проблеме освоения техногенных месторождений усиливается потому, что они расположены в промышленно развитых районах, горная масса в них классифицирована и дезинтегрирована в процессах предыдущего обогащения и активно воздействует на окружающую природную среду [12–14].

Существует мнение, что при определении эффективности добычи полезных ископаемых должны учитываться не только те ресурсы, которые извлечены из недр, но и те, которые добыты, но не утилизированы в полной мере, например, хвосты переработки руд. Сведения о новых процессах получения металлов, в том числе из некондиционного металлосодержащего сырья, даны в работах [15–18].

Со временем увеличивается актуальность развития технологий и процессов, в результате которых неактивные запасы металлосодержащего сырья вовлекаются в производство [19–22]. Одним из направлений реализации идеи глубо-

кого извлечения металлов из минерального сырья является выщелачивание металлов с комбинированной механохимической активацией процессов в активаторах, например, в дезинтеграторе [23–25].

Первый дезинтегратор в горном производстве применен в 80-х годах прошлого века на урановом руднике в Северном Казахстане. Дезинтегратор ДУ-65 обеспечивал работу закладочного комплекса производительностью 100 000 м<sup>3</sup> твердеющих смесей в год [26, 27]. При активации шлаков в дезинтеграторе расход цемента на 1 м<sup>3</sup> смеси был снижен на 100–120 кг без уменьшения прочности закладки.

Повышению вяжущей способности шлаков способствовало удаление солей жесткости в диафрагменном электролизере в диапазоне 40–0,08 мг·экв/л, что позволяло на 10–15% повысить прочность смеси.

Установка применялась для изготовления вяжущих компонентов твердеющих смесей при закладке выработанного пространства. Дезинтегратор обеспечивал выход 55% активного класса 0,076 мм при переработке гранулированных хвостов Карагандинского металлургического завода, что позволило уменьшить расход цемента с 150 кг/м<sup>3</sup> смеси до 30 кг/м<sup>3</sup>.

Утилизация хвостов обогащения руд в качестве строительного сырья ограничивается условием: хвосты не должны содержать металлов более установленных предельных значений, чего применяемые процессы извлечения металлов не обеспечивают [28].

Комплексный анализ применения эффективных технологий для повышения устойчивого развития природно-технической системы приведен в трудах [29–32]. Методика исследования аспектов новых технологий выщелачивания приведена в трудах [31, 33, 34]. Данные ра-

Таблица 1

**Формат матрицы планирования экспериментов**  
**Experiment Design Matrix Format**

№	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$
1	-1	-1	-1	-1
2	1	-1	-1	-1
3	-1	1	-1	-1

боты показывают, что применение рациональной методики позволяет существенно снизить энергозатраты процесса выщелачивания, а также повысить эффективность процесса в целом. Новые технологии позволяют не только повысить эффективность процесса, но и получить существенных экономический эффект [35 – 37].

Целью настоящей работы является оптимизация конструкции скоростного активатора — дезинтегратора для повышения полноты использования добытых минеральных ресурсов.

### Методология

В предлагаемых к обработке хвостах обогащения определяется содержание элементов. Так, хвосты обогащения Мизурской фабрики Садонского комбината характеризуются составом, %: цинк — 0,95; свинец — 0,84; железо — 4,4; марганец — 0,015; серебро — 0,015; медь — 0,18; сера — 1,88;  $\text{SiO}_2$  — 31,4;  $\text{CaO}$  — 1,96;  $\text{K}_2\text{O}$  — 3,5;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 0,8;  $\text{TiO}_2$  — 0,03.

Для каждого из видов сырья выполняются эксперименты:

- агитационное выщелачивание;
- агитационное выщелачивание после механической активации в дезинтеграторе;
- реагентное выщелачивание в дезинтеграторе;
- агитационное выщелачивание после выщелачивания в дезинтеграторе;
- неоднократное выщелачивание в дезинтеграторе.

В отдельно взятом эксперименте выщелачивают пробу из 50 г хвостов крупностью до 2 мм. Объем выщелачивающего раствора определяют по условию обеспечения нормативного соотношения «жидкое/твердое». Раствор смешивают с пробой, после чего пульпу выщелачивают с постоянной для данного эксперимента скоростью перемешивания, фильтруют и не позже 24 ч после получения раствор анализируют на содержание металлов.

Особенности экспериментов:

- для компенсации уноса пылевых фракций в дезинтеграторе активируют несколько больше, чем 50 г хвостов;
- для сохранения эффекта активации время между различными процессами активации минимизируют.

Независимые факторы влияния на извлечение металлов в продукционный раствор варьируют на трех уровнях — минимальном (-1), нулевым (0) и максимальном (1):

- содержание серной кислоты и хлорида натрия ( $X_1$  — 2; 6 и 10 г/л,  $X_2$  — 20; 90 и 160 г/л);
- отношение Ж : Т ( $X_3$  — 4; 7 и 10);
- время агитационного выщелачивания ( $X_4$  — 0,25; 0,625 и 1 ч);
- частота вращения роторов дезинтегратора ( $X_5$  — 50; 125 и 200 Гц);
- количество циклов переработки ( $X_6$  — 3; 5; 7).

Эксперименты повторяют трижды, в соответствии с матрицей планирования эксперимента (табл. 1).

### Результаты

В основе механохимической технологии лежит феномен изменения состояния вещества при обработке со скоростью более 250 м/с в дезинтеграторе (рис. 1).

Динамика развития физико-химических процессов характеризуется тем, что показатели активности увеличиваются

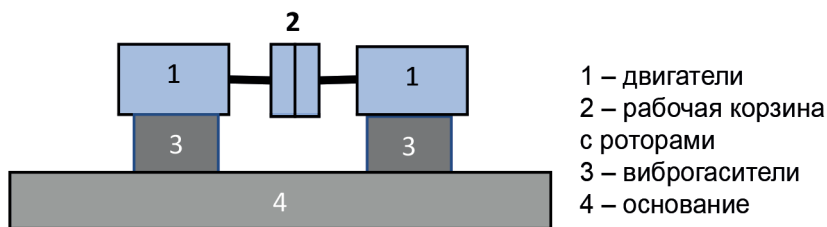


Рис. 1. Устройство дезинтеграторной установки  
Fig. 1. Device of the disintegrator plant

Таблица 2

**Извлечение цинка в раствор**  
**Extraction of zinc into solution**

Концентрация соляной кислоты в растворе, %			
4–6	8–10	12–16	20
Вариант без активации, %			
8–17	26–30	36–39	42
Вариант с активацией, %			
32–47	58–71	75–85	89

Таблица 4

**Извлечение железа в раствор**  
**Extraction of iron into solution**

Концентрация соляной кислоты в рабочем растворе, %						
4	6	8	10	12	16	20
Извлечение без активации, %						
15–17		23–28		31–33		37
Извлечение с активацией, %						
24–44		55–64		70–75		79

Таблица 3

**Извлечение свинца в раствор**  
**Extraction of lead into solution**

Концентрация соляной кислоты в рабочем растворе, %			
4–6	8–10	12–16	20
Извлечение без активации, %			
12–29	42–48	52–56	60
Извлечение с активацией, %			
31–43	49–52	64–66	70

с приростом поверхности вещества [38, 39].

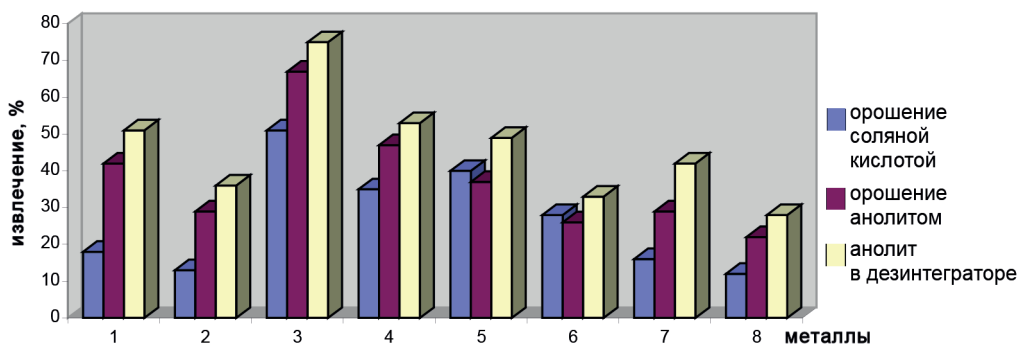
Феномен повышения активности подтверждается при выщелачивании хвостов в сверхкритической барабанной мельнице. Результаты извлечения металлов в течение 10 мин активации представлены в табл. 2–4.

Механохимическая активация хвостов на 10–20% увеличивает извлечение металлов в раствор (рис. 2).

Исследован феномен изменения состояния вещества в дезинтеграторе при обработке с высокой скоростью. Коли-

чественные значения параметров извлечения металлов в раствор определены экспериментально при выщелачивании хвостов обогащения металлов в лабораторном дезинтеграторе. Показатели извлечения из хвостов обогащения выщелачиванием в дезинтеграторе сравниваются с агитационным выщелачиванием. Полученные результаты использованы для совершенствования технологии извлечения металлов из хвостов переработки.

Для улучшения показателей обработки в дезинтеграторе конструкция дезин-



1 – свинец из хвостов обогащения; 2 – свинец из хвостов металлургии; 3 – цинк из хвостов обогащения; 4 – цинк из хвостов металлургии; 5 – медь из хвостов обогащения; 6 – медь из хвостов металлургии; 7 – железо из хвостов обогащения; 8 – железо из хвостов металлургии

Рис. 2. Извлечение металлов в зависимости от вида хвостов и способа орошения

Fig. 2. Extraction of metals depending on the type of tailings and irrigation method

тегратора модернизируется путем введения дополнительных воздействий на обрабатываемое вещество.

Феномен повышения активности в дезинтеграторе подтвержден в разных отраслях промышленности [40, 41]. Например, изготовление искусственного камня из силикальцита обходится в 2 раза дешевле при сокращении расхода энергии на 50%.

Феномен активации основан на том, что процессы в твердых веществах протекают тем активнее, чем больше площадь их поверхности. При разрушении

вещества в измельчителе каждая новая поверхность активна.

Показатели активации увеличиваются при совмещении механической активации с тепловым воздействием. Конструкция дезинтегратора (рис. 3) включает в себя корпус 1, внутри которого на валах размещены пальцы 2 на дисках 3, а также внешние диски 4. Один из дисков жестко закреплен на валу электродвигателя, а второй крепится 5 с обеспечением зазора между дисками. На рис. 3 также представлены форсунки 6 во входном патрубке 7, емкость с жидкостью 8,

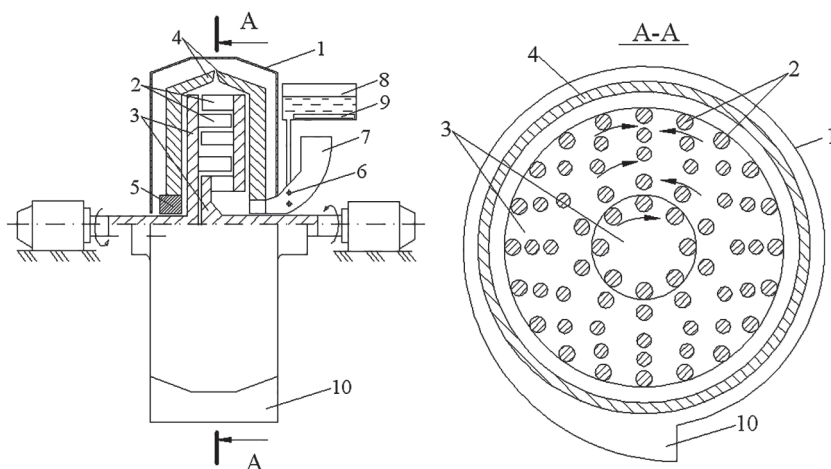


Рис. 3. Усовершенствованная конструкция дезинтегратора

Fig. 3. Improved disintegrator design

нагревательный элемент 9 и выпускное отверстие 10.

Жидкость подогревают до 90–95 °С. Хвосты смешиваются с жидкостью, проходят сквозь ряды пальцев и отбрасываются на внешние диски. Частицы нужной крупности удаляются, а крупные измельчаются внешними дисками и соударением с поступающими частицами.

При обработке в дезинтеграторе увеличивается гомогенность смеси, что повышает качество бетонных смесей (см. табл. 5).

Одной из задач исследования было определение прочности бетонов, изготовленных на основе хвостов обогащения

после извлечения из них металлов при одинаковом расходе компонент, кг/м<sup>3</sup>: хвосты — 1445, цемент — 10, вода — 380 (табл. 5).

Активация хвостов обогащения повысила прочность смесей на 10%.

Значения прочности твердеющей смеси, сформированной в равных условиях, приведены в табл. 6.

При равных условиях прочность бетонов на основе активированных в дезинтеграторе хвостов переработки увеличивается на 30–40 %.

Прочность твердеющих смесей, изготавливаемых по базовой технологии, без извлечения из хвостов металлов и

Таблица 5

**Прочность бетонов на основе выщелоченных хвостов обогащения**  
**Strength of concretes based on leached tailings**

Вариант активации	Прочность, МПа, 28 сут		
	цемент 100 кг/м <sup>3</sup>		активация без цемента
	без активации	с активацией	
Агитационное выщелачивание	1,18	—	1,03
Агитационное выщелачивание после активации	—	1,30	1,13
Выщелачивание в дезинтеграторе	—	0,96	0,83

Таблица 6

**Прочность смеси на основе активированных хвостов**  
**Mixture strength based on activated tailings**

Компоненты смеси, кг/м <sup>3</sup>				Прочность, МПа		
Цемент	Вяжущие хвосты	Инертные хвосты	Вода	Возраст хранения кубов, с		
				14	28	90
<b>Активация в шаровой мельнице (тонина 40% выхода класса 0,076 мм)</b>						
40	400	1200	350	0,30	0,42	0,61
80	360	1200	350	0,44	0,62	0,73
120	320	1200	350	0,82	1,03	1,25
180	260	1200	350	1,09	1,24	1,57
<b>Активация в дезинтеграторе (тонина 40% выхода класса 0,076 мм)</b>						
40	400	1200	350	0,62	0,94	1,19
80	370	1200	350	0,92	1,22	1,44
120	320	1200	350	1,22	1,41	1,67
180	260	1200	350	1,62	1,71	2,13



Таблица 7

**Прочность твердеющих смесей без активации**  
**Strength of hardening mixtures without activation**

Расход портландцемента, кг/м <sup>3</sup>	30	60	80	100	120	180
Прочность, МПа	0,75	0,94	0,10	1,22	1,40	1,78

Таблица 8

**Прочность смесей с вяжущим цементом в зависимости от активации**  
**The strength of mixtures with binder cement depending on activation**

Способ переработки	Прочность смеси, МПа, сутки		
	7	14	28
Без активации с расходом портландцемента 100 кг/м <sup>3</sup>	1,02	1,13	1,18
Механическая активация без реагентов	1,17	1,24	1,34
Агитационное выщелачивание без активации	0,53	0,62	0,74
Механическая активация без реагентов с выщелачиванием в агитаторе	0,67	0,72	0,89
Механохимическая активация в дезинтеграторе	0,72	0,76	0,92
Трехкратная механохимическая активация в дезинтеграторе	0,94	1,12	1,24

Таблица 9

**Влияние активации на прочность смесей без вяжущего цемента**  
**Influence of activation on the strength of mixtures without binder cement**

Способ переработки	Прочность смеси, МПа, сутки		
	7	14	28
Без активации	0,62	0,80	1,00
Механическая активация без реагентов	0,88	0,93	1,11
Агитационное выщелачивание без активации	0,40	0,58	0,60
Механическая активация с агитационным выщелачиванием	0,62	0,67	0,76
Механохимическая активация в дезинтеграторе	0,62	0,72	0,86
Трехкратная механохимическая активация в дезинтеграторе	0,83	1,02	1,14

механической активации, монотонно изменяется в зависимости от количества вяжущего (табл. 7).

Механическая активация хвостов в дезинтеграторе повышает прочность твердеющей смеси (табл. 8), хотя выщелачивание в дезинтеграторе уменьшает прочность твердеющей смеси за счет увеличения влажности.

Определено, что трехкратная механохимическая активация хвостов обогащения в дезинтеграторе обеспечивает

прочность смеси на уровне базовой с расходом цемента 100 кг/м<sup>3</sup>. Только механическая активация хвостов в дезинтеграторе увеличивает прочность смесей без вяжущего цемента на 10% (табл. 9).

Применение дезинтеграторной технологии перспективно, например, при проходке вертикального шахтного ствола.

Дезинтегратор, мешалку, бункер и трубопровод располагают на проходческом полке (рис. 4).



Цемент спускают в контейнере в приемный бункер и активируют в дезинтеграторе, загружают в мешалку и добавляют песок и щебень. Полученную смесь перегружают в накопительный бункер, откуда подают за опалубку.

Одним из вариантов повышения эффективности переработки материалов является совмещение механической активации с электроакустическим воздействием. По периметру рабочей камеры закрепляют электроакустические излучатели, а дезинтегратор оборудуют электронным генератором.

Адекватность механохимической активации процессов выщелачивания доказана экспериментально с извлечением металлов 20–70% от их содержания в хвостах.

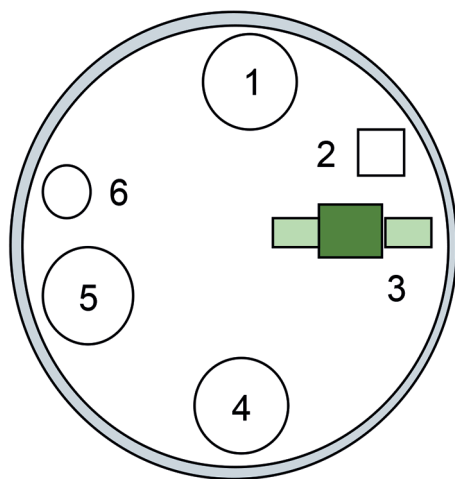
Увеличение активности хвостов обогащения на 20–25% повышает прочность бетонных изделий, что позволяет использовать их в качестве вяжущих.

Освоение технологии с механохимической активацией процессов переработки нуждается в решении частных вопросов, в том числе:

- разработка универсальной модели процессов в активаторе;
- программное обеспечение механохимических процессов;
- методика определения эколого-экономической эффективности.

На предприятиях ОАО «Норильский никель» для изготовления твердеющей смеси применяют ангидрит, шлак и цемент после дробления и измельчения, преимущественно, в качестве инертного заполнителя.

Применяемая технология включает использование компонентов смеси без повышения их качества в процессе подготовки при том, что ангидрит замещает цемент при реализации его вяжущих способностей путем образования новых рабочих поверхностей с выходом до 50% крупности частиц крупностью 0,074 мм



1 и 4 – раструбы; 2 – приемный бункер;  
3 – дезинтегратор; 5 – мешалка;  
6 – вентиляционная труба

Рис. 4. Использование дезинтегратора при креплении ствола

Fig. 4. The use of a disintegrator when attaching the barrel

в дезинтеграторе, который помещается между мельницей и смесителем. Повышение активности шлака и ангидрита при больших объемах потребления могло бы улучшить экономические показатели предприятия.

Утилизации хвостов обогащения препятствует наличие в них неизвлеченных металлов. Подготовка хвостов в дезинтеграторе позволяет одновременно извлекать металлы и улучшать качество попутной товарной продукции. Для бетонного производства важно, что в продуктах дезинтеграторной обработки частиц крупнее 125 мкм и менее 5 мкм мало, а площадь активных поверхностей минеральных частиц после обработки в дезинтеграторе увеличивается в 1,4 раза.

Традиционные методы обогащения не обеспечивают извлечения металлов до безопасного уровня, поэтому надежды связывают с созданием новых технологий, одной из которых является комбинированное химическое обогащение и механическая активация в дезинтеграторе.

Такие технологии обеспечивают одинаковое извлечение металлов быстрее, что снижает затраты.

Новые технологии получения металлов характеризуются тем, что из добытого сырья извлекается большее количество металла, после чего хвосты становятся пригодными для изготовления продукции без ограничений.

Вовлечение в производство некондиционного минерального сырья избавляет от необходимости вовлечения в эксплуатацию новых месторождений для обеспечения минерально-сырьевой безопасности России.

## Заключение

Механохимическая активация процессов выщелачивания в скоростных активаторах при глубокой утилизации хвостов обогащения позволяет повысить активность утилизируемых веществ и извлечь теряемые ранее металлы. Конструкция дезинтеграторов совершенствуется путем использования новых физико-технических процессов, что решает проблему повышения полноты использования недр, в том числе возвращением в производство содержащего металлические компоненты недоступного для традиционных технологий обогащения сырья.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бунин И. Ж., Рязанцева М. В., Самусев А. Л., Хабарова И. А. Теория и практика применения комбинированных физико-химических и энергетических воздействий на геоматериалы и водные суспензии // Горный журнал. — 2017. — № 11. — С. 134–139. DOI: 10.17580/gzh.2017.11.14.

2. Efremkov E. A., Shanin S. A., Martyushev N. V. Development of an algorithm for computing the force and stress parameters of a cycloid reducer // Mathematics. 2023, vol. 11, no. 4, article 993. DOI: 10.3390/math11040993.

3. Gladkih A. M., Konyuhov V. Yu., Galyautdinov I. I., Shchadova E. I. Green building as a tool of energy saving // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019, vol. 350, no. 1, article 012032. DOI: 10.1088/1755-1315/350/1/012032.

4. Качурин Н. М., Стась Г. В., Корчагина Т. В., Змеев М. В. Геомеханические и аэрогазодинамические последствия подработки территорий горных отводов шахт Восточного Донбасса // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2017. — № 1. — С. 170–182.

5. Konyuhov V. Yu., Gladkih A. M., Galyautdinov I. I., Kiseleva T. Yu. Ecological architecture: The green roofs // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019, vol. 350, no. 1, article 012035. DOI: 10.1088/1755-1315/350/1/012035.

6. Kondratiev V. V., Nebogin S. A., Sysoev I. A., Gorovoy V. O., Karlina A. I. Description of the test stand for developing of technological operation of nano-dispersed dust preliminary coagulation // International Journal of Applied Engineering Research. 2017, vol. 12, no. 22, pp. 12809–12813.

7. Дуйсебаева Т. С., Вершков А. Ф., Дуйсебаев Б. О., Камберов И. М., Дюсембаев С. А. Перспективы извлечения золота и попутных ценных металлов из отработанных и действующих блоков урановых месторождений // Актуальные проблемы урановой промышленности. Сборник трудов IX Международной научно-практической конференции. Ч. 1. — Алматы, 2019. — С. 256.

Литературу с п. 8 по п. 14 смотри в REFERENCES.

15. Комащенко В. И. Эколого-экономическая целесообразность утилизации горно-промышленных отходов с целью их переработки // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2015. — № 4. — С. 23–30.

16. Куранов А. Д. Применение численного моделирования для выбора безопасных параметров систем разработки рудных месторождений в высоконапряженных массивах // Записки Горного института. — 2013. — Т. 206. — С. 60–64.

17. Ляшенко В. И., Андреев Б. Н., Куча П. М. Развитие горнотехнических технологий подземного блочного выщелачивания металлов из скальных руд // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2018. — № 3. — С. 46–60. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-3-0-46-60.

18. Ляшенко В. И., Голик В. И., Ключев Р. В. Оценка эффективности гидрогеологической и окружающей среды при подземном блочном выщелачивании металлов из руд // Горные науки и технологии. — 2022. — № 7(1). — С. 5–17. DOI: 10.17073/2500-0632-2022-1-5-17.

19. Suslov K. V., Stepanov V. S., Solonina N. N. Smart grid: Effect of high harmonics on electricity consumers in distribution networks // IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility. 2013, pp. 841–845.

20. Крупская Л. Т., Орлов А. М., Голубев Д. А., Колобанов К. А., Филатова М. А. Оценка экологической опасности накопленных отходов переработки минерального сырья закрытых горных предприятий в Приамурье и Приморье // Горные науки и технологии. — 2020. — № 5(3). — С. 208–223. DOI: 10.17073/2500-0632-2020-3-208-223.

21. 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. — С. 178–188. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-11-0-178-188.

22. Рыбак Я., Хайрутдинов М., Конгар-Сюрюн Ч., Тюляева Ю. Ресурсосберегающие технологии освоения месторождений полезных ископаемых // Устойчивое развитие горных территорий. — 2021. — Т. 13. — № 3(49). — С. 405–415. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-3-406-415.

23. Stepanov V. S., Suslov K. V., Chebotnyagin L. M. The market approach of demand management for electricity in the power system and the consumer // Elektroenergetika. Proceedings of the 6th International Scientific Symposium on Electrical Power Engineering. 2011, vol. 2011. pp. 373–375. DOI: 10.1109/ISGTEurope.2012.6465747.

24. Подрезов Д. Р. Задачи совершенствования управления и повышения эффективности функционирования технологических блоков рудника подземного скважинного выщелачивания урана // Горные науки и технологии. — 2020. — № 5(2). — С. 131–153. DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-131-153.

25. Бригида В. С., Кожиев Х. Х., Сарян А. А., Джигоева А. К. Пространственно-временные задачи геоэкологии — междисциплинарный подход // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 4. — С. 20–32. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-4-0-20-32.

26. Suslov K. V., Solonina N. N., Smirnov A. S. Smart meters for distributed filtering of high harmonics in Smart Grid // Energy and Electrical Drives. International Conference on Power Engineering. 2011, article 6036552. DOI: 10.1109/PowerEng.2011.6036552.

27. Душин А. В., Валиев Н. Г., Лагунова Ю. А., Шорин А. Г. Уральский горный и московский горный: взаимодействие вузов // Горный журнал. — 2018. — № 4. — С. 4–10. DOI: 10.17580/gzh.2018.04.01.

28. Balanovsky A. E., Shtayger M. G. Plasma-arc surface modification of metals in a liquid medium // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018, vol. 411, no. 1, article 012013. DOI: 10.1088/1757-899X/411/1/012013.

29. Хулелидзе К. К., Кондратьев Ю. И., Заалишвили В. Б., Бетровов З. С. Оценка коренных и техногенных месторождений РСО-Алания как возможных объектов применения технологии подземного и кучного выщелачивания // Устойчивое развитие горных территорий. — 2016. — Т. 8. — № 1. — С. 46–51. DOI: 10.21177/1998-4502-2016-8-1-46-51. DOI: 10.21177/1998-4502-2016-8-1-46-51.

30. Karlina A. I., Kondrat'ev V. V., Kolosov A. D., Balanovskiy A. E., Ivanov N. A. Production of new nanostructures for modification of steels and cast irons // IOP Conference Series:

Materials Science and Engineering. 2019, vol. 560, no. 1, article 012183. DOI: 10.1088/1757-899X/560/1/012183.

31. Голик В. И., Дедегкаева Н. Т., Кожиев Х. Х., Белодедов А. А. Ресурсосберегающая технология утилизации хвостов обогащения руд цветных металлов // Устойчивое развитие горных территорий. — 2023. — Т. 15. — № 2. — С. 225–233. DOI: 10.21177/1998-4502-2023-15-2-225-233.

32. Каунг П. А., Семикин А. А., Хайрутдинов А. М., Дехтяренко А. А. Вовлечение техногенных отходов в переработку — парадигма ресурсного обеспечения устойчивого развития // Устойчивое развитие горных территорий. — 2023. — Т. 15. — № 2. — С. 385–397. DOI: 10.21177/1998-4502-2023-15-2-385-397.

33. Яицкая Н. А., Бригида В. С. Геоинформационные технологии при решении трехмерных геоэкологических задач: пространственная интерполяция данных // Геология и геофизика Юга России. — 2022. — № 12(1). — С. 162–173. DOI: 10.46698/VNC.2022.86.27.012.

Литературу с п. 34 по п. 41 смотри в REFERENCES. **ПЛАЭ**

## REFERENCES

1. Bunin I. Zh., Ryazantseva M. V., Samusev A. L., Khabarova I. A. Theory and practice of combined physico-chemical and energy effects on geomaterials and water suspensions. *Gornyi Zhurnal*. 2017, no. 11, pp. 134–139. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2017.11.14.

2. Efremkov E. A., Shanin S. A., Martyushev N. V. Development of an algorithm for computing the force and stress parameters of a cycloid reducer. *Mathematics*. 2023, vol. 11, no. 4, article 993. DOI: 10.3390/math11040993.

3. Gladkih A. M., Konyuhov V. Yu., Galyautdinov I. I., Shchadova E. I. Green building as a tool of energy saving. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019, vol. 350, no. 1, article 012032. DOI: 10.1088/1755-1315/350/1/012032.

4. Kachurin N. M., Stas G. V., Korchagina T. V., Zmeev M. V. Geomechanical and aerodynamic consequences of undermining the territories of mining allotments of mines in the Eastern Donbass. *News of the Tula state university. Sciences of Earth*. 2017, no. 1, pp. 170–182. [In Russ].

5. Konyuhov V. Yu., Gladkih A. M., Galyautdinov I. I., Kiseleva T. Yu. Ecological architecture: The green roofs. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019, vol. 350, no. 1, article 012035. DOI: 10.1088/1755-1315/350/1/012035.

6. Kondratiev V. V., Nebogin S. A., Sysoev I. A., Gorovoy V. O., Karlina A. I. Description of the test stand for developing of technological operation of nano-dispersed dust preliminary coagulation. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2017, vol. 12, no. 22, pp. 12809–12813.

7. Duisebaeva T. S., Vershkov A. F., Duisebaev B. O., Kamberov I. M., Dyusembaev S. A. Prospects for the extraction of gold and associated valuable metals from spent and active blocks of uranium deposits. *Aktual'nye problemy uranovoy promyshlennosti. Sbornik trudov IX Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Current problems of the uranium industry. Proceedings of the IX International Scientific and Practical Conference], part 1, Almaty, 2019, pp. 256. [In Russ].

8. Strateichuk D. M., Klyuev R. V., Gladkikh V. A., Kukartsev V. V., Tynchenko Y. A. Morphological Features of Polycrystalline CdS<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub> Films Obtained by Screen-Printing Method. *Crystals*. 2023, vol. 13, no. 5, article 825. DOI: 10.3390/cryst13050825.

9. Rezanov V. A., Kukartsev V. V., Tynchenko V. S., Kukartsev V. A., Grinek A. V., Skeebeba V. Y., Lyosin A. V. Study of melting methods by electric resistance welding of rails. *Metals*. 2022, vol. 12, no. 12, article 2135. DOI: 10.3390/met12122135.

10. Konyukhov V. Y., Permyakova D. N., Oparina T. A. Perspective for the use of industrial waste in lubricating compositions to reduce wear in friction pairs. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021, vol. 2061, no. 1, article 012046. DOI: 10.1088/1742-6596/2061/1/012046.

11. Nemarov A. A., Lebedev N. V. Theoretical and experimental research of parameters of pneumatic aerators and elementary cycle flotation. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2016, vol. 11, no. 20, pp. 10222–10226.

12. Adigamov R. R., Baraboshkin K. A., Mishnev P. A. Development of rolling procedures for pipes of K55 strength class at the laboratorial mill. *CIS Iron and Steel Review*. 2022, vol. 24, pp. 60 – 66. DOI: 10.17580/cisr.2022.02.09.

13. Isametova M. E., Karlina Y. I., Kononenko R. V., Skeebe V. Y., Absadykov B. N. Thermal Pulse Processing of Blanks of Small-Sized Parts Made of Beryllium Bronze and 29 NK Alloy. *Materials*. 2022, vol. 15, no. 19, article 6682. DOI: 10.3390/ma15196682.

14. Martyshev N. V., Kozlov V. N., Qi M., Tynchenko V. S., Kononenko R. V., Konyukhov V. Y., Valuev D. V. Production of workpieces from martensitic stainless steel using electron-beam surfacing and investigation of cutting forces when milling workpieces. *Materials*. 2023, vol. 16, no. 13, article 4529. DOI: 10.3390/ma16134529.

15. Komashchenko V. I. Ecological and economic expediency of utilization of mining waste for the purpose of their processing. *News of the Tula state university. Sciences of Earth*. 2015, no. 4, pp. 23 – 30. [In Russ].

16. Kuranov A. D. Application of numerical modeling for selection of safe parameters of mining systems for ore deposits in high stress massifs. *Journal of Mining Institute*. 2013, vol. 206, pp. 60 – 64. [In Russ].

17. Lyashenko V. I., Andreev B. N., Kucha P. M. Technological development of in-situ block leaching of metals from hard ore. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no. 3, pp. 46 – 60. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-3-0-46-60.

18. Lyashenko V. I., Golik V. I., Kluev R. V. Evaluation of the efficiency and environmental impact (on subsoil and ground-water) of underground block leaching (UBL) of metals from ores. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2022, no. 7(1), pp. 5 – 17. [In Russ]. DOI: 10.17073/2500-0632-2022-1-5-17.

19. Suslov K. V., Stepanov V. S., Solonina N. N. Smart grid: Effect of high harmonics on electricity consumers in distribution networks. *IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility*. 2013, pp. 841 – 845.

20. Krupskaya L. T., Orlov A. M., Golubev D. A., Kolobanov K. A., Filatova M. A. Assessment of environmental hazard of accumulated mineral processing waste of closed mining enterprises in the Amur river region and Primorye. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2020, no. 5(3), pp. 208 – 223. [In Russ]. DOI: 10.17073/2500-0632-2020-3-208-223.

21. Petrov Yu. S., Khadzaragova 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: Outlines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 11-1, pp. 178 – 188. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-11-0-178-188.

22. Rybak Ya., Khairutdinov M., Kongar-Suryun Ch., Tyulyaeva Yu. Resource-saving technologies for the development of mineral deposits. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2021, vol. 13, no. 3(49), pp. 405 – 415. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-3-406-415.

23. Stepanov V. S., Suslov K. V., Chebotnyagin L. M. The market approach of demand management for electricity in the power system and the consumer. *Elektroenergetika. Proceedings of the 6th International Scientific Symposium on Electrical Power Engineering*. 2011, vol. 2011, pp. 373 – 375. DOI: 10.1109/ISGTEurope.2012.6465747.

24. Podrezov D. R. Issues of improving control and increasing efficiency of production blocks at an ISL uranium mine. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2020, no. 5(2), pp. 131 – 153. [In Russ]. DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-131-153.

25. Brigida V. S., Kozhiev Kh. Kh., Saryan A. A., Dzhiioeva A. K. Time-space problems in geocology: An inter-disciplinary approach. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 4, pp. 20 – 32. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-4-0-20-32.

26. Suslov K. V., Solonina N. N., Smirnov A. S. Smart meters for distributed filtering of high harmonics in Smart Grid. *Energy and Electrical Drives. International Conference on Power Engineering*. 2011, article 6036552. DOI: 10.1109/PowerEng.2011.6036552.



27. Dushin A. V., Valiev N. G., Lagunova Yu. A., Shorin A. G. Ural mining and Moscow mining: interaction of universities. *Gornyi Zhurnal*. 2018, no. 4, pp. 4–10. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2018.04.01.

28. Balanovsky A. E., Shtayger M. G. Plasma-arc surface modification of metals in a liquid medium. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018, vol. 411, no. 1, article 012013. DOI: 10.1088/1757-899X/411/1/012013.

29. Khulelidze K. K., Kondratiev Yu. I., Zaalishvili V. B., Betzov Z. S. Evaluation of primary and technogenic deposits in North Ossetia-Alania as possible objects of application of underground and heap leaching technology. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2016, vol. 8, no. 1, pp. 46–51. DOI: 10.21177/1998-4502-2016-8-1-46-51. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2016-8-1-46-51.

30. Karlina A. I., Kondrat'ev V. V., Kolosov A. D., Balanovskiy A. E., Ivanov N. A. Production of new nanostructures for modification of steels and cast irons. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019, vol. 560, no. 1, article 012183. DOI: 10.1088/1757-899X/560/1/012183.

31. Golik V. I., Dedegkaeva N. T., Kozhiev Kh. Kh., Belodedov A. A. Resource-saving technology of tailings utilization of non-ferrous metals beneficiation. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2023, vol. 15, no. 2, pp. 225–233. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2023-15-2-225-233.

32. Kaung P. F., Semikin A. A., Khayrutdinov A. M., Dekhtyarenko A. A. Recycling of industrial waste is a paradigm of resource provision for sustainable development. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2023, vol. 15, no. 2, pp. 385–397. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2023-15-2-385-397.

33. Yaitskaya N. A., Brigida V. S. Geoinformation technologies for solving three-dimensional geocological problems: spatial data interpolation. *Geology and geophysics of Russian South*. 2022, no. 12(1), pp. 162–173. [In Russ]. DOI: 10.46698/VNC.2022.86.27.012.

34. Bosikov I. I., Martyushev N. V., Klyuev R. V., Tynchenko V. S., Kukartsev V. A., Eremeeva S. V. Complex assessment of X-ray diffraction in crystals with face-centered silicon carbide lattice. *Crystals*. 2023, vol. 13, no. 3, article 528. DOI: 10.3390/cryst13030528.

35. Bosikov I. I., Klyuev R. V., Savchenko I. A., Kukartsev V. V., Kukartsev V. A., Tynchenko Y. A. Modeling and complex analysis of the topology parameters of ventilation networks when ensuring fire safety while developing coal and gas deposits. *Fire*. 2023, vol. 6, no. 3, article 95. DOI: 10.3390/fire6030095.

36. Gozbenko V. E., Khomenko A. P., Kargapoltsev S. K., Minaev N. V. Creating of the alternative lubricants and practice of their use. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2017, vol. 12, no. 22, pp. 12369–12372.

37. Golik V. I., Brigida V., Efremkov E. A., Sorokova S. N., Mengxu Q. Tailings utilization and zinc extraction based on mechanochemical activation. *Materials*. 2023, vol. 16, no. 2, article 726. DOI: 10.3390/ma16020726.

38. Kongar-Syuryun Ch., Aleksakhin A., Khayrutdinov A., Tyulyaeva Y. Research of rheological characteristics of the mixture as a way to create a new backfill material with specified characteristics. *Materials Today: Proceedings*. 2021, vol. 38, pp. 2052–2054. DOI: 10.1016/j.matpr.2020.10.139.

39. Li G., Zhou Q., Zhu Z., Luo J., Rao M., Peng Z., Jiang T. Selective leaching of nickel and cobalt from limonitic laterite using phosphoric acid: An alternative for value-added processing of laterite. *Journal of Cleaner Production*. 2018, vol. 189, pp. 620–626. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.04.083.

40. Sinclair L., Thompson J. In situ leaching of copper: Challenges and future prospects. *Hydrometallurgy*. 2015, vol. 157, pp. 306–324. DOI: 10.1016/j.hydromet.2015.08.022.

41. Velasquez-Yevenes L., Torres D., Toro N. Leaching of chalcopyrite ore agglomerated with high chloride concentration and high curing periods. *Hydrometallurgy*. 2018, vol. 181, pp. 215–220. DOI: 10.1016/j.hydromet.2018.10.004.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Голик Владимир Иванович* — д-р техн. наук, профессор,  
Московский политехнический университет,  
Северо-Кавказский государственный технологический  
университет, e-mail: v.i.golik@mail.ru,  
ORCID ID: 0000-0002-1181-8452, Elibrary: 497371,  
Scopus Author ID: 6602135324, Researcher ID: U-9000-2019,

*Кукарцев Виктор Алексеевич*<sup>1</sup> — канд. техн. наук,  
доцент, Политехнический институт,  
e-mail: vlad\_saa\_2000@mail.ru,

*Панфилова Татьяна Александровна*<sup>1</sup> — канд. техн. наук,  
доцент, Институт нефти и газа, e-mail: tpanfilova@sfu-kras.ru,

*Тынченко Вадим Сергеевич*<sup>1</sup> — канд. техн. наук, доцент,  
НОЦ Технологии искусственного интеллекта МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
Сибирский государственный университет  
науки и технологий им. М.Ф. Решетнёва,  
e-mail: vadimond@mail.ru,

*Конюхов Владимир Юрьевич* — канд. техн. наук,  
профессор, доцент, Иркутский Национальный  
исследовательский технический университет,  
e-mail: konyukhov\_vyu@mail.ru,

<sup>1</sup> Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия.

**Для контактов:** Голик В.И., e-mail: v.i.golik@mail.ru.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*V.I. Golik*, Dr. Sci. (Eng.), Professor,  
Moscow Polytechnic University, 107023, Moscow, Russia;  
North Caucasus State Technological University, 362021,  
Vladikavkaz, Russia, e-mail: v.i.golik@mail.ru,  
ORCID ID: 0000-0002-1181-8452, Elibrary: 497371,  
Scopus Author ID: 6602135324, Researcher ID: U-9000-2019,

*V.A. Kukartsev*<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor,  
Polytechnical School, e-mail: vlad\_saa\_2000@mail.ru,

*T.A. Panfilova*<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor,  
School of Petroleum and Natural Gas Engineering,  
e-mail: tpanfilova@sfu-kras.ru,

*V.S. Tynchenko*<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor,  
School of Petroleum and Natural Gas Engineering;  
Artificial Intelligence Technology Scientific and Education Center,  
Bauman Moscow State Technical University, 105005, Moscow, Russia;  
Reshetnev Siberian State University of Science and Technology,  
660037, Krasnoyarsk, Russia, e-mail: vadimond@mail.ru,

*V.Yu. Konyukhov*, Cand. Sci. (Eng.), Professor,  
Assistant Professor, e-mail: konyukhov\_vyu@mail.ru,  
Irkutsk National Research Technical University,  
664074, Irkutsk, Russia,

<sup>1</sup> Siberian Federal University, 660041, Krasnoyarsk, Russia.

**Corresponding author:** V.I. Golik, e-mail: v.i.golik@mail.ru.

Получена редакцией 06.07.2023; получена после рецензии 20.09.2023; принята к печати 10.10.2023.

Received by the editors 06.07.2023; received after the review 20.09.2023; accepted for printing 10.10.2023.