

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛУПРОМЫШЛЕННОЙ АПРОБАЦИИ МАГНИТНОЙ СЕПАРАЦИИ В КАЧЕСТВЕ СПОСОБА МЕЖЦИКЛОВОГО КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ ПРОДУКТОВ ТЯЖЕЛОСРЕДНОЙ СЕПАРАЦИИ АЛМАЗОСОДЕРЖАЩИХ РОССЫПЕЙ НЮРБИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Ю.Н. Никитина¹, Г.П. Двойченкова^{2,3}, А.С. Тимофеев², Ю.А. Подкаменный^{2,3}

¹ Научно-исследовательский и проектный институт алмазодобывающей промышленности «Якутнипроалмаз», Мирный, Россия, e-mail: nikitinayn@alrosa.ru

² Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова РАН, Москва, Россия

³ Политехнический институт (филиал) Северо-Восточного федерального университета имени М.К. Аммосова, Мирный, Россия

Аннотация: Выполнены опытно-промышленные испытания двухстадиальной схемы мокрой магнитной сепарации для сокращения концентрата тяжелосредной сепарации алмазосодержащих россыпей Накынского рудного поля крупностью $-6+1$ мм, по результатам которых: установлен оптимальный режим работы магнитного сепаратора СТС-910 в первой стадии технологической схемы магнитной сепарации, характеризующийся значением угла поворота магнитной системы 7 град. и обеспечивающий при напряженности магнитного поля 2000 Э максимальный выход сильномагнитной фракции (магнетит) из исходного материала; установлен оптимальный режим работы сильномагнитного сепаратора ЭВМ-28/9 во второй стадии технологической схемы магнитной сепарации, характеризующийся скоростью вращения вала 50 об/мин, значением угла отклонения шибера 40 град. и обеспечивающий при напряженности магнитного поля 15 000 Э максимальный выход слабомагнитной фракции (сидерит) из исходного продукта; по результатам выполненных испытаний установлена технологическая эффективность принятой в качестве способа межциклового концентрирования двухстадиальной схемы магнитной сепарации, обусловленная максимальным сокращением концентрата тяжелосредной сепарации за счет практически полного удаления из него слабомагнитного минерала сидерита при сохранении на 99,2% извлечения алмазов в немагнитную фракцию.

Ключевые слова: сепарация, тяжелосредная, магнитная, магнитное поле, минерал, сидерит, магнетит, алмаз, эффективность, концентрат, стадия сепарации, технологическая схема, двухстадиальная, межцикловая.

Для цитирования: Никитина Ю. Н., Двойченкова Г. П., Тимофеев А. С., Подкаменный Ю. А. Результаты полупромышленной апробации магнитной сепарации в качестве способа межциклового концентрирования продуктов тяжелосредной сепарации алмазосодержащих россыпей Нюрбинского месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2025. – № 10. – С. 5–20. DOI: 10.25018/0236_1493_2025_10_0_5.

Pilot-scale magnetic separation as a method of inter-circuit concentration of dense medium separation products at Nyurba diamond placers

Yu.N. Nikitina¹, G.P. Dvoichenkova^{2,3}, A.S. Timofeev², Yu.A. Podkamenny^{2,3}

¹ Research and Design Institute of the Diamond Mining Industry «Yakutniproalmaz», Mirny, Russia, e-mail: nikitinayn@alrosa.ru

² Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

³ Polytechnic Institute (branch) of the North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Mirny, Russia

Abstract: The pilot-scale testing of the two-stage wet magnetic separation with a view to reducing concentrate of dense medium separation of diamond-bearing materials from the Nakyn placer field, with a size of $-6+1$ mm has allowed: optimizing operation mode of magnetic separator CTS-910 at the first stage of magnetic separation flowsheet, which includes magnetic declination by 7 deg and ensures the maximum yield of a strong magnetic fraction (magnetite) from the initial material at the magnetic field strength of 2000 Oe; optimizing operation mode of strong magnetic separator EVM-28/9 at the second stage of magnetic separation flowsheet, which includes a shaft speed of 50 rpm and a slide gate angle of 40 deg, and ensures the maximum yield of a weak magnetic fraction (siderite) from the initial material at the magnetic field strength of 15 000 Oe; determining the technical efficiency of the two-stage magnetic separation flowsheet adopted as the method of inter-circuit concentration, which is governed by the maximal reduction of the dense medium separation concentrate owing to almost complete removal of weak magnetic siderite at the preserved diamond recovery of 99.2% to nonmagnetic fraction.

Key words: separation, dense medium, magnetic, magnetic field, mineral, siderite, magnetite, diamond, efficiency, concentrate, separation stage, process flowsheet, two-stage, inter-circuit.

For citation: Nikitina Yu. N., Dvoichenkova G. P., Timofeev A. S., Podkamenny Yu. A. Pilot-scale magnetic separation as a method of inter-circuit concentration of dense medium separation products at Nyurba diamond placers. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2025;(10):5-20. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2025_10_0_5.

Введение

Россыпные месторождения, разведанные в зонах добычных карьеров кимберлитовых трубок «Нюрбинская» и «Ботубинская», являются фрагментами алмазонасной россыпи Накынского рудного поля. Являясь частью крупного россыпного проявления алмазов, россыпи «Нюрбинская» и «Ботубинская» имеют близкое геологическое строение, обусловленное сходством условий формирования алмазонасных залежей и близостью вещественного состава [1]. По данным проведенных геологических ис-

следований, породы россыпных месторождений в зонах карьеров трубок «Ботубинская» и «Нюрбинская» не имеют принципиальных различий и характеризуются одинаковыми физическими и физико-механическими свойствами, а также близким составом слагающих их осадочных пород.

Вышеизложенные факты обуславливают переработку алмазосодержащего материала рассматриваемых россыпей в общей технологической схеме обогатительной фабрики № 16 (ОФ № 16) с предварительным получением продук-

тивной фракции россыпного материала в виде концентратов тяжелосредней сепарации (ТСС), реализуемой в технологии обогатительной фабрики № 15 (ОФ № 15) Мирнинско-Нюрбинского ГОКа (МНГОКа) [2, 3].

Технологическая схема ОФ № 15, реализующая первичную обработку алмазосодержащих россыпей, изображена на рис. 1.

Из представленной схемы видно, что концентрат ТСС алмазосодержащих россыпей после отмывки суспензии подается на вибрационный грохот (ГЛИ-204) и рассеивается на классы крупности $-25+6$ и $-6+1$ мм, которые перевозятся для последующей обработки на участок доводки и сортировки (УДиС) ОФ № 16.

Доводка черновых концентратов ТСС крупностью $-32+6$ мм и $-6+1$ мм, полученных обработкой рудного сырья кимберлитовых трубок «Нюрбинская» и

«Ботубинская» (ОФ № 16) и сопутствующих им россыпей (ОФ № 15), осуществляется по общей схеме с использованием рентгенолюминесцентных сепараторов (РЛС), хвосты которых проходят контрольные доводочные операции в цикле липкостной сепарации (ЛС) [4].

Технологическая эффективность используемых процессов сепарации в схеме доводки алмазосодержащих концентратов ТСС обеспечивается, в первую очередь, постоянством количества исходного сырья, то есть стабильной производительностью схемы УДиС по исходному питанию (концентраты ТСС), и минералогическим составом рудного материала, поступающего в циклы РЛС и ЛС [5].

Ранее выполненными специалистами институтов ИПКОН РАН и «Якутнипроалмаз» исследованиями в циклах рентгенолюминесцентной и липкостной

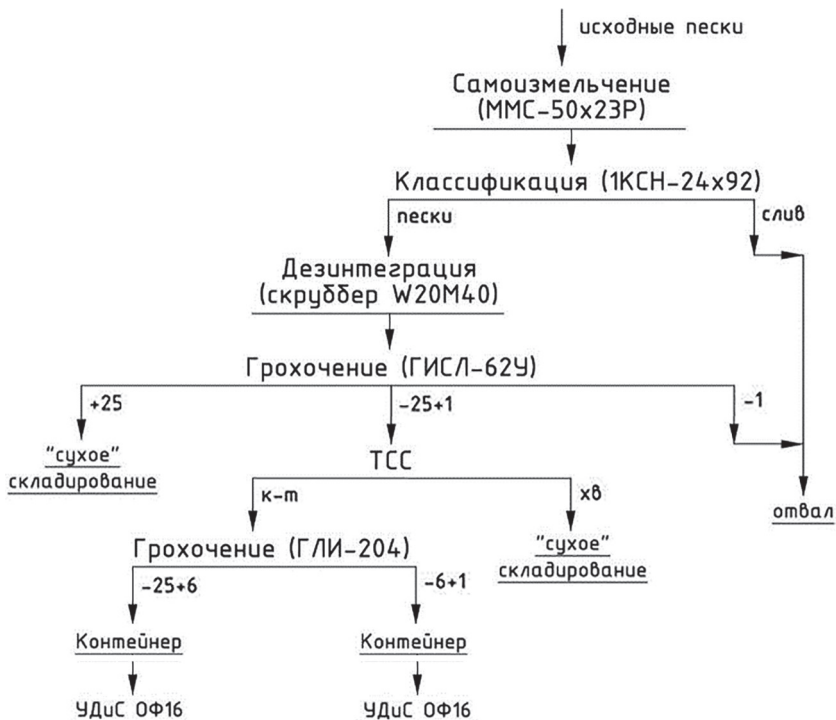


Рис. 1. Технологическая схема обработки алмазосодержащих россыпей на ОФ № 15 МНГОКа

Fig. 1. Technological scheme of processing diamond-containing placers at Processing Plant No. 15 of MNGOK

сепараций алмазосодержащего сырья установлены факторы, отрицательно влияющие на их технологические показатели [6]:

- наличие слабolumинесцирующих кристаллов в исходном питании РЛС;
- наличие алмазных кристаллов с гидрофилизированной поверхностью в исходном питании ЛС [7].

Для решения вышеуказанных проблем в ИПКОН РАН под руководством академика РАН В.А. Чантурия были проведены работы, результатом которых стала разработка теоретических основ и выполнение, совместно с институтом «Якутнипроалмаз», экспериментальной апробации комбинированных физико-химических методов, применение которых обеспечивает возможность:

- регулирования природных спектрально-кинетических характеристик алмазных кристаллов до значений, позволяющих идентифицировать их как алмазы в процессах рентгенолюминесцентной сепарации;
- восстановления природных гидрофобных свойств алмазных кристаллов для их извлечения в процессе липкостной сепарации.

Однако результатами исследований последних лет установлено, что кроме вышеуказанных факторов ухудшение

технологических показателей обогащения может быть обусловлено высоким выходом черновых концентратов ТСС алмазосодержащего материала, поступающих в сепарационные процессы схемы доводки [8, 9].

В условиях переработки коренных и россыпных руд по общему технологическому тракту снижение качества гравитационного концентрата, поступающего в схему доводки, приводит к перегрузке оборудования и увеличению потерь алмазов. Вынужденное уменьшение нагрузки по руде приводит к снижению производительности фабрики или к необходимости введения дополнительных производственных мощностей, что обуславливает в свою очередь рост затрат на производство в цикле доводки концентратов [10].

Таким образом, задача по выбору метода и разработки технологии повышения качества гравитационного концентрата в условиях вовлечения в переработку россыпных месторождений является актуальной для повышения эффективности переработки алмазосодержащего сырья в схемах обогатительных фабрик АК «АЛРОСА».

Актуальность данной разработки обусловлена также постоянным увеличением содержания железосодержащих

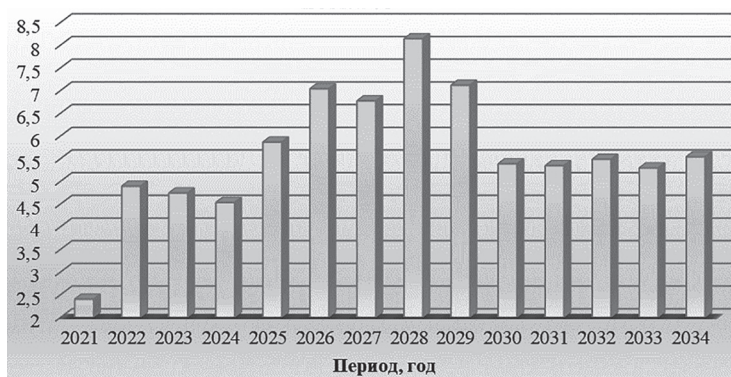


Рис. 2. Календарь обработки алмазосодержащих россыпей Накынского рудного поля
Fig. 2. Calendar of processing of diamond-bearing placers of the Nakyn ore field

минералов в тяжелой фракции алмазосодержащих россыпей месторождений Накынского рудного поля в долгосрочном периоде (до 2034 г.), что подтверждается данными прогнозного календаря их обработки, приведенными на рис. 2. Результатами совместных с институтом «Якутнипроалмаз» исследований установлена возможность повышения качества черновых концентратов ТСС алмазосодержащих россыпей трубки «Нюрбинская» Накынского рудного поля за счет выделения из них железосодержащих минералов (магнетита и сидерита) перед поступлением в схему УДиС ОФ № 16 МНГОКа.

В настоящей работе представлены результаты апробации в промышленных условиях метода межцикловой многоступенчатой магнитной сепарации для извлечения из гравитационного алмазосодержащего концентрата магнитных минералов [11].

Предложенная технология обеспечивает повышение производительности УДиС ОФ № 16 и, соответственно, технологических показателей используемых в схеме доводочных операций.

С учетом ранее полученных результатов основная задача настоящих исследований состояла в разработке промышленных режимов повышения качества гравитационного алмазосодержащего концентрата при обогащении россыпных алмазосодержащих месторождений с оценкой эффективности разработанной технологии.

Опытное оборудование и методика исследований

Согласно утвержденной методике, институтами ИПКОН РАН и «Якутнипроалмаз» выполнена экспериментальная оценка эффективности применения в промышленных условиях магнитной сепарации для сокращения выхода концентрата тяжелосредней сепарации ал-

мазосодержащих россыпей в схеме ТСС фабрики № 15 МНГОКа.

В качестве объектов исследований приняты процессы магнитной сепарации алмазосодержащих концентратов ТСС.

В качестве предметов исследований изучены концентраты ТСС алмазосодержащих россыпей крупностью $-6+1$ мм, продукты их магнитной сепарации, режимы работы магнитных сепараторов.

Экспериментальная апробация выполнена методом опытно-промышленных испытаний в несколько этапов.

Этап 1. Отработка оптимальных режимов работы слабомагнитного сепаратора СТС-910, обеспечивающего практически полное удаление сильномагнитных минералов из алмазосодержащих концентратов ТСС в магнитную фракцию первой стадии сепарации.

Этап 2. Отработка оптимальных режимов работы сильномагнитного сепаратора ЭВМ-28/9, обеспечивающего практически полное удаление из алмазосодержащих концентратов ТСС слабомагнитных минералов в магнитную фракцию второй стадии сепарации.

Этап 3. Испытания двухстадийной схемы магнитной сепарации в условиях непрерывной работы последовательно установленных сепараторов СТС-910 и ЭВМ-28/9, обеспечивающих практически полное удаление из алмазосодержащего концентрата ТСС сильномагнитных и слабомагнитных минералов соответственно при максимальном извлечении алмазов в немагнитную фракцию.

Этап 4. Обработка и анализ отобранных в период испытаний проб исходного материала (алмазосодержащего концентрата ТСС) и продуктов его последовательной магнитной сепарации. Оценка эффективности разработанной технологии сокращения объема концентрата ТСС алмазосодержащих россы-

пей, поступающего в схему УДиС ОФ № 16 МНГОКа.

В качестве контролируемых параметров приняты основные технологические параметры работы магнитных сепараторов (производительность, выход и гранулометрические характеристики продуктов разделения, содержание минералов магнитной фракции, извлечение алмазов в продукты магнитной сепарации).

Основные методы и методики исследований включали:

- анализ минерального состава алмазосодержащих россыпей и продуктов их обогащения с применением волновой рентгенофлуоресцентной спектроскопии на приборе ARL 9900 WS;

- фракционный анализ алмазосодержащих россыпей и продуктов их обогащения методом магнитоожидкостной сепарации на сепараторе СМЖ-ПМ-3 и с использованием тяжелой жидкости ГПС-В [12, 13];

- анализ магнитных свойств компонентов алмазосодержащих россыпей и продуктов их обогащения в магнитных полях различной напряженности;

- получение сепарационных характеристик гравитационного концентрата алмазосодержащих россыпей на валковых и роликовых магнитных сепараторах;

- расчет содержания алмазных кристаллов в продуктах магнитной сепарации концентрата ТСС материала алмазосодержащих россыпей.

Опробование и контроль технологического процесса проводились методами:

- определения массы пробы из питания магнитного сепаратора и времени его работы для расчета производительности сепаратора;

- определения массы пробы из продуктов магнитного сепаратора для расчета выхода продуктов сепарации;

- отбора проб из магнитных продуктов сепаратора для определения гранулометрической характеристики и проведения магнитного анализа продуктов магнитной сепарации;

- отбора проб из немагнитных продуктов сепаратора для определения гранулометрической характеристики и проведения магнитного анализа продуктов магнитной сепарации.

Согласно утвержденной методике экспериментальных работ пробы материала, отобранные в период испытаний, высушивались, взвешивались, проходили ситовый анализ для определения гранулометрической характеристики (на ситах 6, 3, 2, 1, 0,5 мм) и возвращались в технологический процесс ОФ № 15.

Материал классов крупности $-6+3$ мм и $-3+1$ мм после ситового анализа подвергался магнитному анализу с использованием магнита Сочнева (напряженность поля 200, 400 и 1200 Э) и сильного неодимового магнита (напряженность поля 3000 Э) [14, 15].

Все действия при выполнении опробований, обработки, перемещения отобранных проб производились согласно утвержденной методике и в соответствии с требованиями:

- сборника инструкций по обеспечению сохранности, хранению и ведению учета алмазосодержащего сырья, драгоценных камней и ювелирных изделий в АК «АЛРОСА» (ПАО), введенного в действие приказом по АК «АЛРОСА» (ПАО) № 01/372-П от 30.12.2021 г.

- сборника инструкций по обеспечению сохранности, хранению и ведению учета алмазосодержащего сырья, драгоценных камней и ювелирных изделий на объектах Мирнинско-Нюрбинского ГОКа АК «АЛРОСА» (ПАО), введенного в действие приказом по АК «АЛРОСА» (ПАО) № 02-МНГОК-01/996-П от 20.12.2022.

Результаты выполненных опытно-промышленных испытаний

Согласно методике, опытно-промышленные испытания выполнены на пробе концентрата ТСС алмазосодержащей россыпи «Нюрбинская» крупностью $-6+1$ мм.

Принципиальная схема испытаний представлена на рис. 3.

В период испытаний по данной схеме реализованы последовательно вышеуказанные этапы экспериментальных полупромышленных исследований.

На этапе № 1 отработаны оптимальные режимы работы слабомагнитного сепаратора СТС-910, установленного в первой стадии опытной схемы и обеспечивающего практически полное удаление сильномагнитных минералов из алмазосодержащих концентратов ТСС в магнитную фракцию.

В период настройки и отработки оптимального режима работы сепаратора СТС-910 (рис. 4) в качестве изменяемого параметра принято положение (угол поворота) магнитной системы [16]. Напряженность магнитного поля магнит-

Таблица 1

Технологические показатели работы сепаратора СТС-910
Technological performance indicators of the СТС-910 separator

№ опыта	Продукт сепарации	Выход продукта, % от операции	Гранулометрическая характеристика, % по классам крупности, мм						
			+6	-6+3	-3+2	-2+1	-1+0,5	-0,5	всего
1	Немагнитный	99,976	0,5	4,8	13,1	55,3	26,1	0,2	100,0
	Магнитный	0,024	—	10,6	29,8	29,8	27,7	2,1	100,0
2	Немагнитный	99,994	0,6	4,7	14,7	57,0	23,0	—	100,0
	Магнитный	0,006	—	8,3	25,0	41,7	25,0	—	100,0

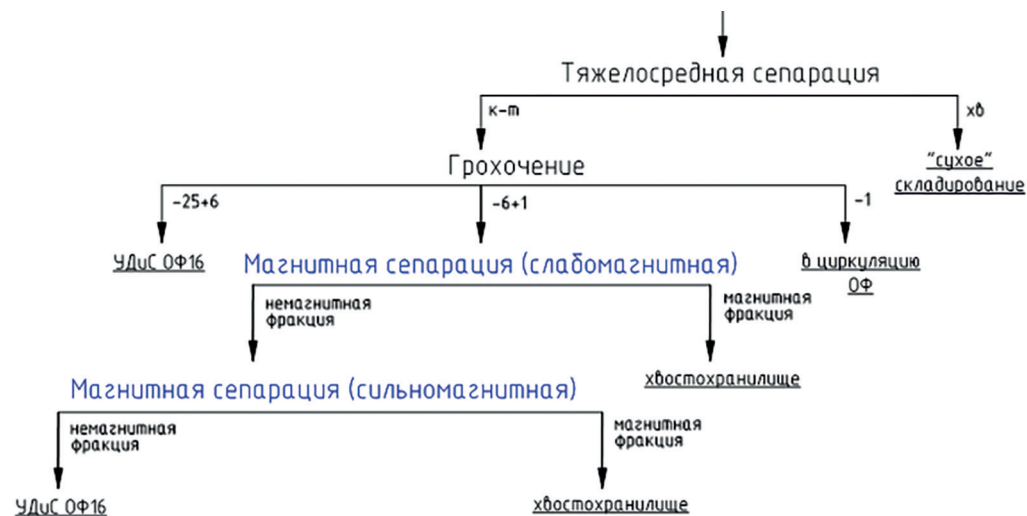


Рис. 3. Двухстадийная экспериментальная схема магнитной сепарации для сокращения концентрата ТСС алмазосодержащих россыпей крупностью $-6+1$ мм

Fig. 3. Two-stage experimental scheme of magnetic separation for reducing the concentrate of TSS of diamond-containing placers with a size of $-6+1$ mm

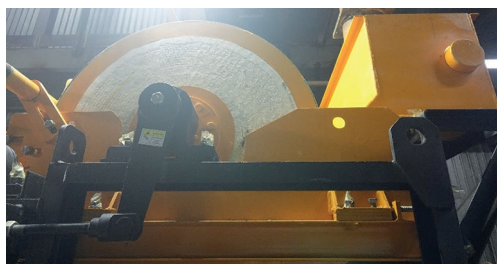


Рис. 4. Внешний вид магнитного сепаратора CTS-910

Fig. 4. External view of magnetic separator CTS-910

ного сепаратора в период испытаний составила 2000 Э.

В табл. 1 приведены основные технологические показатели работы магнитного сепаратора при значениях положения магнитной системы 7 и 15 град. В опытах 1 и 2 соответственно.

Значения выхода магнитного продукта в экспериментах составили 0,024 и 0,006% от операции при положении магнитной системы 7 и 15 град. соответственно.



Рис. 5. Внешний вид магнитного сепаратора ЭВМ-28/9

Fig. 5. External view of magnetic separator EVM-28/9

По результатам выполнения работ на данном этапе определены оптимальные параметры работы магнитного сепаратора CTS-910 (см. табл. 1, опыт 1), которые обеспечивают в условиях испытаний наибольшее сокращение концентрата ТСС при минимальном извлечении минералов немагнитной фракции в магнитный продукт.

Учитывая полученные данные по выходу магнитной фракции, положение магнитной системы для условий непрерывного процесса было рекомендовано устанавливать на 7 град., что обеспечивает максимальный выход магнитной фракции, равный 0,024% от исходного материала (см. табл. 1, опыт 1).

На этапе № 2 отработаны оптимальные режимы работы сильномагнитного сепаратора ЭВМ-28/9, установленного во второй стадии опытно-промышленной схемы и обеспечивающего практически полное удаление из алмазосодержащих концентратов ТСС слабомагнитных минералов в магнитную фракцию [17 – 20].

В период настройки и отработки оптимального режима работы сепаратора ЭВМ-28/9 (рис. 5) в качестве изменяемых параметров приняты: положение шибера, индукция магнитной системы, скорость вращения вала.

В качестве исходного питания магнитного сепаратора ЭВМ-28/9 использован немагнитный продукт сепаратора CTS-910, отобранный в период выполнения этапа 1. Результаты экспериментов данного этапа представлены в табл. 2.

В результате анализа экспериментальных данных, представленных в табл. 2, установлено следующее:

- при положении шибера 0 град., скорости вращения вала 70 об/мин и относительно низких значениях напряженности магнитного поля — 2000 и 4000 Э (опыты № 1 и 2 соответственно), сепарация на ЭВМ-28/9 осуществля-

Таблица 2

Технологические показатели сепаратора ЭВМ-28/9
Technological indicators of the separator EVM-28/9

№ опыта	Параметры работы ЭВМ-28/9	Время работы, ч	Производительность, кг/ч	Выход магнитного продукта, %	Содержание немагнитной фракции в магнитном продукте, %	
					-6+3	-3+1
1	напряженность – 2000 Э; положение шибера – 0 град.; скорость вращения вала – 70 об/мин	1,25	98,8	–	–	–
2	напряженность – 4000 Э; положение шибера – 0 град.; скорость вращения вала – 70 об/мин	1,42	67,7	–	–	–
3	напряженность – 8000 Э; положение шибера – 40 град.; скорость вращения вала – 70 об/мин	0,38	141,1	53,8	0,02	0,02
4	напряженность – 10 000 Э; положение шибера – 40 град.; скорость вращения вала – 70 об/мин	0,54	95,7	53,1	–	–
5	напряженность – 15 000 Э; положение шибера – 40 град.; скорость вращения вала – 70 об/мин	0,49	106,8	69,5	0,11	0,04
6	напряженность – 15 000 Э; положение шибера – 40 град.; скорость вращения вала – 100 об/мин	0,40	127,9	63,0	0,15	0,01
7	напряженность – 15 000 Э; положение шибера – 40 град.; скорость вращения вала – 50 об/мин	0,40	126,2	75,9	0,06	0,02

лась неэффективно, при практически полном отсутствии выхода магнитной фракции;

- изменение положения шибера до 40 град. (опыты № 3–7) значительно повлияло на выход магнитного продукта, который изменялся в диапазоне значений 53,1 – 75,9% от операции;

- меньшее влияние на выход магнитного продукта (53,1 – 69,5% от операции) оказывает изменение напряженности магнитного поля от 8000 до 15 000 Э (опыты № 3–5);

- выход магнитного продукта изменяется обратно пропорционально увеличению скорости вращения вала (опыты № 5–7);

- максимальный выход магнитного продукта (75,9% от операции) получен при напряженности магнитного поля 15 000 Э, положении шибера 40 град., скорости вращения вала 50 об/мин и производительности аппарата 126,2 т/ч (опыт № 7);

- минимальное содержание немагнитной фракции в магнитном продукте получено в опыте № 7 – 0,06% по классу –6+3 мм и 0,02% по классу –3+1 мм.

Таким образом, по результатам выполненных испытаний определены контрольные показатели работы сильномагнитного сепаратора ЭВМ-28/9, подтверждающие их достаточность в заданных условиях для обеспечения максимально-

Таблица 3

Технологические показатели контрольной сильномагнитной сепарации немагнитного продукта слабомагнитной сепарации концентрата ТСС крупностью –6+1 мм
Technological indicators of control high-magnetic separation of non-magnetic product of low-magnetic separation of TSS concentrate with a size of –6+1 mm

1. Напряженность, Э	2. Отклонение шибера, Град.	3. Скорость валка, об/мин	4. Масса исходной пробы, г	5. Масса магнитной фракции, г	6. Время переработки, ч	7. Производительность, кг/ч	8. Выход магнитной фракции, %	9. Содержание немагнитной фракции в магнитном продукте –6+3 мм, %	10. Содержание немагнитной фракции в магнитном продукте –3+1 мм, %
15 000	40	50	1 342 664	984 000	8,0	168,3	73,3	0,08	0,07

го сокращения концентрата ТСС за счет максимального удаления из него слабомагнитной фракции при минимальном извлечении в магнитный продукт минералов немагнитной фракции.

С учетом результатов анализа полученных данных к непрерывным двухстадиальным испытаниям были рекомендованы следующие параметры работы магнитного сепаратора ЭВМ-28/9: напряженность магнитного поля — 15 000 Э, положение шибера — 40 град., скорость вращения валка — 50 об/мин.

На этапе № 3 выполнены контрольные испытания двухстадиальной схемы магнитной сепарации в условиях непрерывной работы последовательно

установленных сепараторов СТС-910 и ЭВМ-28/9, обеспечивающих практически полное удаление из алмазосодержащего концентрата ТСС сильномагнитных и слабомагнитных минералов соответственно при максимальном извлечении алмазов в немагнитную фракцию.

В период контрольных испытаний сепараторы СТС-910 и ЭВМ-28/9 работали в оптимальных режимах, параметры которых были установлены на этапах 1 и 2. Исходным питанием слабомагнитного сепаратора СТС-910, установленного в первой стадии сепарации, служил концентрат ТСС алмазосодержащей россыпи «Нюрбинская». Исходным материалом сильномагнитного сепаратора

Таблица 4

Гранулометрическая характеристика продуктов сильномагнитной сепарации немагнитного продукта слабомагнитной сепарации концентрата ТСС крупностью –6+1 мм

Granulometric characteristics of products of highly magnetic separation of non-magnetic product of weakly magnetic separation of TSS concentrate with a size of –6+1 mm

Выход классов крупности магнитной фракции, %						Итого, %
+6 мм	–6+3 мм	–3+2 мм	–2+1 мм	–1+0,5 мм	–0,5 мм	
0,7	9,4	24,1	43,2	22,4	0,2	100,0
Выход классов крупности немагнитной фракции, %						Итого, %
+6 мм	–6+3 мм	–3+2 мм	–2+1 мм	–1+0,5 мм	–0,5 мм	
5,8	22,3	22,0	29,3	20,4	0,2	100,0

ЭВМ-28/9, установленного во второй стадии магнитной сепарации, служил немагнитный продукт сепарации первой стадии.

Полученные в процессе обработки экспериментальных данных результаты выполненных контрольных испытаний приведены в табл. 3.

Результатами гранулометрического анализа, представленными в табл. 4, показано, что контрольный конечный магнитный продукт второй (сильномагнитной) стадии сепарации в основном представлен классом $-3+0,5$ мм, содержание которого достаточно близко к содержанию аналогичного класса крупности в немагнитных продуктах, полученных на этапе 1 с использованием слабомагнитной сепарации.

Данный факт еще раз подтверждает полноту извлечения слабомагнитных сидеритсодержащих минералов в установленных режимах сильномагнитной сепарации, что в условиях эксперимента сокращает выход концентрата тяжелой сепарации на 73,3% (см. табл. 3) [19].

Полученный результат проиллюстрирован фотографией, приведенной на рис. 6, на которой представлен пример магнитного анализа частной пробы контрольного магнитного продукта второй стадии двухстадийной магнитной сепарации исходного концентрата ТСС класса $-6+1$ мм.

На этапе № 4 выполнена обработка и анализ отобранных в период испытаний проб исходного материала (алмазосодержащего концентрата ТСС) и продуктов его последовательной магнитной сепарации с оценкой эффективности разработанной технологии сокращения объема концентрата ТСС алмазосодержащих россыпей, поступающего в схему УДиС ОФ № 16 МНГОКа.

В отобранных пробах выполнены анализы по определению содержания ал-

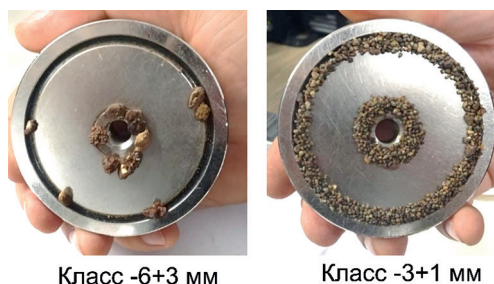


Рис. 6. Результат магнитного анализа магнитного продукта сильномагнитной сепарации (ЭВМ-28/9) второй стадии магнитной сепарации исходного концентрата ТСС класса $-6+1$ мм

Fig. 6. Result of magnetic analysis of the magnetic product of highly magnetic separation (EVM-28/9) of the second stage of magnetic separation of the initial concentrate of TSS class $-6+1$ mm

мазов, результатами которых установлено:

- в магнитном продукте слабомагнитного сепаратора СТС-910 (1-я стадия схемы) алмазных кристаллов не обнаружено;



Рис. 7. Визуальное наблюдение алмазного кристалла в немагнитном продукте второй контрольной стадии опытной схемы магнитной сепарации

Fig. 7. Visual observation of a diamond crystal in the non-magnetic product of the second control stage of the experimental scheme of magnetic separation

Таблица 5

Извлечение алмазных кристаллов в магнитный продукт сильномагнитного сепаратора ЭВМ-28/9 (2-я стадия схемы) при переработке концентрата ТСС крупностью –6+1 мм
Extraction of diamond crystals into the magnetic product of the highly magnetic separator EVM-28/9 (stage 2 of the scheme) during processing of TSS concentrate of size –6+1 mm

–6,7+ +4,75 мм	–4,75+ +4 мм	–4+ +2 мм	–2+ +1,7 мм	–1,7+ +1,2 мм	–1,2+ +1,0 мм	–1,0+ +0,5 мм	Общее извлечение, %
0,0	0,0	0,0	0,0	1,24	4,22	3,78	0,8

• в магнитном продукте сильномагнитного сепаратора ЭВМ-28/9 (2-я стадия схемы) обнаружено небольшое количество кристаллов крупностью –1,7 мм, извлечение которых по классам крупности представлено в табл. 5.

Таким образом, общее извлечение алмазов по схеме (извлечение в немагнитный продукт второй стадии) составило 99,2%.

В немагнитной (продуктивной) фракции 2-й стадии магнитной сепарации визуально наблюдается присутствие алмазных кристаллов, пример которого выделен на фото немагнитного продукта класса –3+1 мм (см. рис. 7).

Выводы

По результатам испытаний выполнена предварительная оценка эффективности применения магнитной сепарации для повышения качества концентрата ТСС алмазосодержащих россыпей.

Расчетами, выполненными специалистами института «Якутнипроалмаз» с учетом параметров извлечения алмазных кристаллов в магнитные и немагнитные фракции, установлено следующее:

1. В условиях оптимального режима работы слабомагнитного сепаратора СТС-910 выход магнитного продукта составил 0,011% от операции при извлечении алмазов в немагнитный продукт 100,0%;

2. В условиях оптимального режима работы сильномагнитного сепаратора

ЭВМ-28/9 выход магнитного продукта составил 73,3% от операции с извлечением алмазов 99,2%;

3. Разработанный эффективный метод, представляющий введение дополнительной межцикловой операции магнитной сепарации в схеме ТСС, обеспечит в промышленных условиях сокращение выхода концентрата ТСС класса крупности –6+1 мм, содержащего сильномагнитные и слабомагнитные минералы, за счет их практически полного извлечения в слабомагнитные и сильномагнитные фракции сепарации соответственно;

4. Применение двухстадийной схемы магнитной сепарации способствует значительному сокращению концентрата ТСС крупностью –6+1 мм и позволит в условиях переработки алмазосодержащего сырья аналогичного состава выполнить перезагрузку производственных мощностей УДиС ОФ № 16 и, как следствие, снизить объем обогащения исходного сырья на ОФ № 15 для обеспечения необходимого уровня извлечения алмазов.

Предложенная схема принята к рассмотрению институтом «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА» для решения вопроса о возможности промышленной реализации в технологии ОФ № 15 МНГОКа АК «АЛРОСА», перерабатывающей алмазосодержащее сырье, близкое по составу к исследованным пробам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Leontiev R. G., Arkhipova Y. A.* Development of the mining complex of the Russian Far East // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021, vol. 723, no. 5, article 052014. DOI: 10.1088/1755-1315/723/5/052014.
2. *Чантурия В. А., Двойченкова Г. П., Чантурия Е. Л., Тимофеев А. С.* Интенсификация процессов сепарации труднообогатимого алмазосодержащего сырья коренных, россыпных и техногенных месторождений // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2022. — № 5. — С. 95–108.
3. *Айгистов М. Р., Герасимов Е. Н., Бондаренко И. Ф., Зырянов И. В.* Современные технологии при добыче и переработке алмазосодержащего сырья // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 5-2. — С. 6–21. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_52_0_6.
4. *Васильева А. А., Савицкий Л. В.* Особенности вещественного состава и технологии переработки кимберлитов трубки Нюрбинская / Молодежь и научно-технический прогресс в современном мире. Сборник материалов XII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. — М., 2023. — С. 139–140.
5. *Зельберг А. С., Зырянов И. В., Бондаренко И. Ф.* Современные и перспективные технологии при разработке месторождений алмазов // Горная промышленность. — 2019. — № 3 (145). — С. 26–31.
6. *Герасимов Е. Н., Зырянов И. В., Коваленко Е. Г.* Институт Якутнипроалмаз: результаты, достижения, планы // Горный журнал. — 2021. — № 2. — С. 39–47.
7. *Чантурия В. А., Морозов В. В., Двойченкова Г. П., Чантурия Е. Л.* Повышение селективности модифицирования спектральных характеристик алмазов перед процессом рентгенолюминесцентной сепарации // Устойчивое развитие горных территорий. — 2023. — Т. 15. — № 2 (56). — С. 338–348.
8. *Richter M. C., Mainza A. N., Govender I., Mangadoddy N., Sivakumar R., Sreedhar G. E., van Heerden M. R.* Features of near gravitational material tracers in a dense medium cyclone from REPT // Powder Technology. 2023, vol. 415, article 118095. DOI: 10.1016/j.powtec.2022.118095.
9. *Двойченкова Г. П., Тимофеев А. С., Никитина Ю. Н.* Интенсификация тяжелосредной сепарации алмазосодержащего материала за счет повышения коррозионной устойчивости ферросилиция и качества полученных черновых концентратов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2024. — № 8. — С. 108–124. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_8_0_108.
10. *Кондратьев С. А., Ростовцев В. И., Коваленко К. А.* Развитие экологически безопасных технологий комплексной переработки труднообогатимых руд и техногенного сырья // Горный журнал. — 2020. — № 5. — С. 39–46.
11. *Shiteng Qin, Sheng Dou, Yang Hu, Shijie Ma, Fulai Lai, Chuan Zhang, Chong Shen, Hongyu Zhao* Application of pre-magnetic separation to address grinding classification density effects and enhance iron-copper separation in deep polymetallic magnetite ores // Engineering Science and Technology. 2024, vol. 60, article 101912. DOI: 10.1016/j.jestch.2024.101912.
12. *Liu Chen, Yongxiang Wu, Hao Chen, Chunlin He, Gjergj Dodbiba, Nguyen Thi, Hong Nhung, Xinpeng Wang, Yuezhou Wei, Toyohisa Fujita* Various rare earth particles magnetic separation using magnetic fluid and paramagnetic liquid // Minerals Engineering. 2023, vol. 203, article 108350. DOI: 10.1016/j.mineng.2023.108350.
13. *Голованчиков А. Б., Дулькин А. Б., Дулькин Б. А., Шурак А. А., Прохоренко Н. А.* Гравитационное обогащение в тяжелой жидкости бедных руд, содержащихся в отвалах и шламах // Экологические системы и приборы. — 2025. — № 3. — С. 49–56.
14. *Гладков А. С., Думнова И. А., Поляков Д. А., Сеницын К. А., Айхаева И. П., Гапфаров Т. Д., Иванова Р. Н.* Оценка перспектив алмазности Вельминской площади Красноярского края (юго-запад Восточной Сибири) / Перспективы развития горно-металлургической отрасли (Игошинские чтения). Материалы конференции Всероссийской научно-практической конференции. Иркутск, 2022. — С. 149–156.
15. *Дмитриев А. С., Газенаур Е. Г., Кузьмина Л. А.* Магнитная сепарация коксовой мелочи / Развитие производительных сил Кузбасса: история, современный опыт, стратегия будущего. Материалы Международной научно-практической конференции. — М., 2024. — С. 22–25.
16. *Guiral-Vega J. S., Pérez-Barnuevo L., Bouchard J., Ure A., Poulin É., Du Breuil C.* Particle-based characterization and process modeling to comprehend the behavior of iron ores in drum-type wet low-intensity magnetic separation // Minerals Engineering. 2024, vol. 206, article 108509. DOI: 10.1016/j.mineng.2023.108509.

17. Пелевин А. Е., Сытых Н. А., Черепанов Д. В. Влияние крупности частиц на эффективность сухой магнитной сепарации // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 11-1. — С. 293—305.

18. Пелевин А. Е., Сытых Н. А. Применение сепараторов с повышенной индукцией магнитного поля при обогащении титаномагнетитовой руды // Обогащение руд. — 2020. — № 2. — С. 15—20. DOI: 10.17580/or.2020.02.03.

19. Dong Chen, Suo Chen, Hongwei Guo, Wei Zhao, Peng Li, Bingji Yan, Shunhu Zhang A novel metallurgical technique for the preparation of soft magnetic iron carbide from low-grade siderite // Journal of Alloys and Compounds. 2022, vol. 928, article 167186. DOI: 10.1016/j.jallcom.2022.167186.

20. Chumakov A., Prischepov V., Melekhina K., Ivannikov A. Improving the control system of concentration plants based on express control of dissemination of magnetic minerals // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021, vol. 684, no. 1, article 012005. DOI: 10.1088/1755-1315/684/1/012005. **ИТАС**

REFERENCES

1. Leontiev R. G., Arkhipova Y. A. Development of the mining complex of the Russian Far East. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021, vol. 723, no. 5, article 052014. DOI: 10.1088/1755-1315/723/5/052014.

2. Chanturia V. A., Dvoichenkova G. P., Chanturia E. L., Timofeev A. S. Intensification of separation processes of hard-to-process diamond-bearing raw materials from primary, placer and technogenic deposits. *Journal of Mining Sciences*. 2022, no. 5, pp. 95—108. [In Russ].

3. Aigistov M. R., Gerasimov E. N., Bondarenko I. F., Zyryanov I. V. State-of-the-art technologies for mining and processing of diamonds-containing raw materials. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 5-2, pp. 6—21. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_52_0_6.

4. Vasilyeva A. A., Savitsky L. V. Features of the material composition and processing technology of kimberlites of the Nyurbinskaya pipe. *Molodezh' i nauchno-tekhnicheskiiy progress v sovremennoy mire. Sbornik materialov XII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh* [Youth and scientific and technological progress in the modern world. Collection of materials of the XII All-Russian scientific and practical conference of students, graduate students and young scientists], Moscow, 2023, pp. 139—140. [In Russ].

5. Zelberg A. S., Zyryanov I. V., Bondarenko I. F. Modern and promising technologies in the development of diamond deposits. *Russian Mining Industry Journal*. 2019, no. 3 (145), pp. 26—31. [In Russ].

6. Gerasimov E. N., Zyryanov I. V., Kovalenko E. G. Yakutniproalmaz Institute: results, achievements, plans. *Gornyi Zhurnal*. 2021, no. 2, pp. 39—47. [In Russ].

7. Chanturia V. A., Morozov V. V., Dvoichenkova G. P., Chanturia E. L. Increasing the selectivity of modifying the spectral characteristics of diamonds before the process of X-ray luminescence separation. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2023, vol. 15, no. 2(56), pp. 338—348. [In Russ].

8. Richter M. C., Mainza A. N., Govender I., Mangadoddy N., Sivakumar R., Sreedhar G. E., van Heerden M. R. Features of near gravitational material tracers in a dense medium cyclone from PEPT. *Powder Technology*. 2023, vol. 415, article 118095. DOI: 10.1016/j.powtec.2022.118095.

9. Dvoichenkova G. P., Timofeev A. S., Nikitina Yu. N. Stimulation of heavy-media separation of diamond-bearing material by improvement of ferrosilicium corrosion resistance and produced rough concentrate quality. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2024, no. 8, pp. 108—124. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_8_0_108.

10. Kondratiev S. A., Rostovtsev V. I., Kovalenko K. A. Development of environmentally friendly technologies for the integrated processing of refractory ores and technogenic raw materials. *Gornyi Zhurnal*. 2020, no. 5, pp. 39—46. [In Russ].

11. Shiteng Qin, Sheng Dou, Yang Hu, Shijie Ma, Fulai Lai, Chuan Zhang, Chong Shen, Hongyu Zhao Application of pre-magnetic separation to address grinding classification density effects and enhance iron-copper separation in deep polymetallic magnetite ores. *Engineering Science and Technology*. 2024, vol. 60, article 101912. DOI: 10.1016/j.jestch.2024.101912.

12. Liu Chen, Yongxiang Wu, Hao Chen, Chunlin He, Gjergj Dodbiba, Nguyen Thi, Hong Nhung, Xinpeng Wang, Yuezhou Wei, Toyohisa Fujita Various rare earth particles magnetic separation using magnetic fluid and paramagnetic liquid. *Minerals Engineering*. 2023, vol. 203, article 108350. DOI: 10.1016/j.mineng.2023.108350.

13. Golovanchikov A. B., Dulkan A. B., Dulkan B. A., Shurak A. A., Prokhorenko N. A. Gravity enrichment in heavy liquid of lean ores contained in dumps and sludge. *Ecological systems and devices*. 2025, no. 3, pp. 49–56. [In Russ].

14. Gladkov A. S., Dumnova I. A., Polyakov D. A., Sinityn K. A., Aykhaeva I. P., Gapfarov T. D., Ivanova R. N. Assessment of diamond potential of the Velminskaya area of the Krasnoyarsk Territory (southwest of Eastern Siberia). *Perspektivy razvitiya gorno-metallurgicheskoy otrasli (Igoshinskie chteniya)*. *Materialy konferentsii Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Prospects for the development of the mining and metallurgical industry (Igoshin readings). Conference materials of the All-Russian scientific and practical conference], Irkutsk, 2022, pp. 149–156. [In Russ].

15. Dmitriev A. S., Gazenauer E. G., Kuzmina L. A. Magnetic separation of coke breeze. *Razvitie proizvoditel'nykh sil Kuzbassa: istoriya, sovremenniy opyt, strategiya budushchego*. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Development of productive forces of Kuzbass: history, modern experience, strategy for the future. Materials of the International scientific and practical conference], Moscow, 2024, pp. 22–25. [In Russ].

16. Guiral-Vega J. S., Pérez-Barnuevo L., Bouchard J., Ure A., Poulin É., Du Breuil C. Particle-based characterization and process modeling to comprehend the behavior of iron ores in drum-type wet low-intensity magnetic separation. *Minerals Engineering*. 2024, vol. 206, article 108509. DOI: 10.1016/j.mineng.2023.108509.

17. Pelevin A. E., Sytykh N. A., Cherepanov D. V. Influence of particle size on the efficiency of dry magnetic separation. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 11-1, pp. 293–305. [In Russ].

18. Pelevin A. E., Sytykh N. A. Application of separators with increased magnetic field induction in the beneficiation of titanomagnetite ore. *Obogashchenie Rud*. 2020, no. 2, pp. 15–20. [In Russ]. DOI: 10.17580/or.2020.02.03.

19. Dong Chen, Suo Chen, Hongwei Guo, Wei Zhao, Peng Li, Bingji Yan, Shunhu Zhang A novel metallurgical technique for the preparation of soft magnetic iron carbide from low-grade siderite. *Journal of Alloys and Compounds*. 2022, vol. 928, article 167186. DOI: 10.1016/j.jallcom.2022.167186.

20. Chumakov A., Prischepov V., Melekhina K., Ivannikov A. Improving the control system of concentration plants based on express control of dissemination of magnetic minerals. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021, vol. 684, no. 1, article 012005. DOI: 10.1088/1755-1315/684/1/012005.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Никитина Юлия Николаевна – ведущий инженер, институт «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА» (ПАО), e-mail: nikitinayn@alrosa.ru,

Двойченкова Галина Петровна^{1,2} – д-р техн. наук, доцент, главный научный сотрудник; профессор, e-mail: dvoigr@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-0940-3880,

*Тимофеев Александр Сергеевич*¹ – канд. техн. наук, старший научный сотрудник, e-mail: Timofeev_ac@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-3382-6007,

Подкаменный Юрий Александрович^{1,2} – канд. техн. наук, научный сотрудник; зав. кафедрой, e-mail: mirniy.yuriy@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-4104-9113,

¹ Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова РАН,

² Политехнический институт (филиал) Северо-Восточного федерального университета имени М.К. Аммосова.

Для контактов: Никитина Ю.Н., e-mail: nikitinayn@alrosa.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Yu.N. Nikitina*¹, Leading Engineer, Research and Design Institute of the Diamond Mining Industry «Yakutniproalmaz», 678175, Mirny, Russia, e-mail: nikitinayn@alrosa.ru,

G.P. Dvoichenkova^{1,2}, Dr. Sci. (Eng.), Assistant Professor,
Chief Researcher; Professor, e-mail: dvoigp@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0002-0940-3880,

A.S. Timofeev¹, Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher,
e-mail: Timofeev_ac@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0002-3382-6007,

Yu.A. Podkamenny^{1,2}, Cand. Sci. (Eng.), Researcher;
Head of Chair, e-mail: mirniy.yuriy@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0002-4104-9113,

¹ Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources
of Russian Academy of Sciences, 111020, Moscow, Russia,

² Polytechnic Institute (branch) of the North-Eastern Federal University
named after M.K. Ammosov, 678174, Mirny, Russia.

Corresponding author: Yu.N. Nikitina, e-mail: nikitinayn@alrosa.ru.

Получена редакцией 06.07.2025; получена после рецензии 07.08.2025; принята к печати 10.09.2025.

Received by the editors 06.07.2025; received after the review 07.08.2025; accepted for printing 10.09.2025.



**ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ
(СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)**

**ТАКТИКА ВЕДЕНИЯ ГОРНОСПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ ЧЛЕНАМИ ВГК
С ОГРАНИЧЕННОЙ ЧИСЛЕННОСТЬЮ**

(2025, № 7, СБ 11, 20 с. DOI: 10.25018/0236_1493_2025_7_11_3)

Руденко Виталий Александрович¹ — аспирант, e-mail: rva@vgsch.ru, ORCID ID: 0000-0002-2626-208X,

Кобылкин Сергей Сергеевич¹ — д-р техн. наук, профессор, e-mail: kobylikin.s@misis.ru,

ORCID ID: 0000-0002-2626-208X,

¹ НИТУ МИСИС.

Приведена разработанная тактика ведения горноспасательных работ для членов вспомогательных горноспасательных команд. Она разработана для всех видов аварий и с учетом того, что по разным причинам может собраться неполное отделение по составу. Приведенные исследования наглядно показывают, что тот объем аварийно-спасательных работ, который может быть выполнен различным составом, и время, затраченное на его выполнение, существенно отличается. Данные результаты, приведенные в статье, могут быть использованы при разработке плана мероприятий по локализации и ликвидации аварий на угольных шахтах. Также разработанная тактика ведения горноспасательных работ может быть использована для подготовки членов вспомогательных горноспасательных команд и их тренировки на предприятиях.

Ключевые слова: безопасность, шахта, вспомогательные горноспасательные команды, тактика, численность, авария.

**TACTICS OF CONDUCTING MINING RESCUE OPERATIONS BY MEMBERS
OF AUXILIARY MINING RESCUE TEAMS WITH LIMITED NUMBERS**

V.A. Rudenko¹, Graduate Student, e-mail: rva@vgsch.ru, ORCID ID: 0000-0002-2626-208X,

S.S. Kobylikin¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor, e-mail: kobylikin.s@misis.ru, ORCID ID: 0000-0002-2626-208X,

¹ NUST MISIS, 119049, Moscow, Russia.

This publication provides a developed mine rescue operation tactics for members of auxiliary mine rescue teams. It is designed for all types of accidents, taking into account the possibility of an incomplete squadron for various reasons. The studies presented clearly demonstrate the scope of emergency rescue operations that can be performed by different teams and the time required to complete them. These results can be used in the development of a plan for the localization and elimination of accidents in coal mines. Additionally, the developed tactics for conducting mine rescue operations can be used for training members of auxiliary mine rescue teams and their exercises at enterprises.

Key words: safety, mine, auxiliary mine rescue teams, tactics, numbers, accident.