

Статья продолжает серию статей (Горная промышленность, №5 и №6, 2020)
«Ускоренного освоения Северных и Арктических территорий, а также Дальнего Востока РФ
за счет строительства транспортных коридоров».

Мобильный локализатор для разрушения негабаритов

С.П. Тарасов¹, П.И. Тарасов¹✉, М.Л. Хазин²

¹ООО «Перспектива-М», г. Екатеринбург, Российская Федерация

²Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Российская Федерация

✉tp6005@mail.ru

Резюме: Цель работы: разработка и внедрение мобильного локализатора для разрушения негабаритов. *Методология проведения исследования:* анализ методов вторичного дробления негабаритов. *Результаты:* при ведении буровзрывных работ на бортах и дне карьера образуются негабаритные куски горной массы, что влияет на производительность карьера и на добычу полезного ископаемого в целом. Карьерам, имеющим большие объемы скальных пород, ежедневно приходится перерабатывать сотни кубометров негабаритов, и, во-вторых, затраты труда и материальных средств на эти цели весьма значительны. На открытых горных работах используются различные способы дробления негабаритов, в том числе разрушение электрическим током, механическим воздействием на негабарит, разрушение взрывом и др. Общим их недостатком является относительно небольшая производительность. Из всех применяемых способов буровзрывное разрушение негабаритов горных пород является наиболее эффективным, но применение этого способа сдерживается вследствие применения разнородной техники, повышенной опасности и наличия определенных недостатков. Для решения этой проблемы предлагается разработанный автономный мобильный локализатор. Применение локализатора позволяет осуществлять дробление негабаритов горных масс путем использования ВВ, уменьшить радиуса опасной зоны, увеличить КПД УВВ, подготавливать траншеи безопасности в карьерах, а также при строительстве дорог подготавливать горную массу к транспортированию на большие расстояния как автомобильным, так и железнодорожным транспортом. *Выводы:* использование мобильной взрывкамеры (локализатора) на горных предприятиях позволяет сократить объем ручного труда и повысить производительность при бурении шпуров, сократить время простоев горнотранспортного оборудования, связанного с удалением и перемещением негабаритных кусков, взрывать негабариты практически в любом месте карьера без помощи дополнительной техники, без вывода людей из рабочей зоны.

Ключевые слова: негабарит, мобильный локализатор, вторичное дробление горной массы, открытые горные работы

Для цитирования: Тарасов С.П., Тарасов П.И., Хазин М.Л. Мобильный локализатор для разрушения негабаритов. *Горная промышленность.* 2021;(1):105–109. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-1-105-109.

This article continues the series of articles (Russian Mining Industry, No. 5 and No. 6, 2020)
entitled "Accelerated Development of the Northern and Arctic Territories,
as well as the Russian Far East through Construction of Transport Corridors".

Mobile Safety Screen for Secondary Breaking

S.P. Tarasov¹, P.I. Tarasov¹✉, M.L. Khazin²

¹Perspektiva-M'LLC, Ekaterinburg, Russian Federation

²Ural State Mining Universit, Ekaterinburg, Russian Federation

✉tp6005@mail.ru

Abstract: *Research objective:* Development and implementation of a mobile safety screen for secondary breaking. *Research methodology:* Analysis of secondary breaking of oversize boulders. *Research results:* blasting creates oversize chunks of rock (boulders) in the pit walls and floor, which affects the productivity of the pit and the mining operation as a whole. Open pit mines with large volumes of rock formations have to handle hundreds of cubic metres of boulders every day bearing significant labour and material costs of these activities. Various methods of boulder breaking are used in open pit mining, including electrical treatment, mechanical impact, blasting, etc. A common disadvantage of these techniques is their relatively low capacity. Out of all the applied methods, drilling and blasting of boulders is the most effective, but the use of this method is limited due to the use of various equipment, increased hazards and the presence of certain other disadvantages. The autonomous mobile safety screen has been developed to solve this bottleneck. The use of this safety screen enables breaking boulders using blasting techniques, reduces the size of the hazardous area, increases the efficiency of the air shock waves, prepares safety trenches in open pits and for road construction, prepares the rock mass for long-distance transport by road or railways. *Conclusions:* The use of this safety screen enables breaking boulders using blasting techniques, reduces the size of the hazardous area, increases the efficiency of the air shock waves, prepares safety trenches in open pits and, during road construction, prepares the rock mass for long-distance transport by motor and railroads.

Keywords: blasting chamber, oversize boulders, mobile safety screen, secondary breaking, surface mining

For citation: Tarasov S.P., Tarasov P.I., Khazin M.L. Mobile Safety Screen for Secondary Breaking. *Gornaya promyshlennost = Russian Mining Industry.* 2021;(1):105–109. (In Russ.) DOI: 10.30686/1609-9192-2021-1-105-109.

Введение

В настоящее время основным видом добычи полезных ископаемых в мире является открытый способ. Этим способом в России добывается около 90% железных руд, 60% руд цветных металлов и угля [1]. В конце XX в. в связи с истощением минерально-сырьевой базы в России появилась устойчивая тенденция освоения глубоких и сверхглубоких месторождений с вовлечением в разработку бедных руд, что предопределило значительное увеличение глубины карьеров, их размеров в плане и поставило горнодобывающие предприятия в более сложные условия. Одним из таких условий является проблема складирования негабаритов на нижних горизонтах, что выводит вопрос дробления и удаления негабаритов на первый план.

Независимо от качества взрывных работ всегда остается определенное количество негабаритов, которое в зависимости от горно-геологических условий может изменяться от 3 до 20% от общей взорванной массы [2]. В большинстве случаев размер негабаритов в максимальном измерении составляет 0,7–3 м. Складирование негабаритов внутри карьера затрудняет ведение горных работ, снижает производительность добычного и транспортного оборудования и в конечном счёте повышает себестоимость добычи полезных ископаемых. При вскрышных работах, когда разрушаемые в процессе вторичного дробления негабариты представляют собой пустую породу, затраты на их разрушение также увеличивают издержки предприятия.

Стоимость вспомогательных операций по их разрушению может составлять существенную долю в общей себестоимости извлечения горной массы, потому что, во-первых,

даже при небольшом выходе негабарита (2–3%) карьерам, имеющим большие объемы скальных пород, ежедневно приходится перерабатывать сотни кубометров негабаритов, и, во-вторых, затраты труда и материальных средств на эти цели весьма значительны [2; 3]. При использовании существующих средств разделки негабаритов они составляют от 5 до 10% общей стоимости буровзрывных работ [4].

Эффективность работ по разрушению негабаритов горных пород зависит от многих факторов: размеров, формы и структуры, крепости и твердости, абразивности материала негабарита, положения его в пространстве. На практике негабариты подвергаются разрушению (вторичному дроблению) внутри карьера. В настоящее время накоплен большой практический и экспериментальный опыт воздействия на горные породы.

На открытых горных работах используются различные способы дробления негабаритов, в том числе разрушение электрическим током, механическим воздействием на негабарит, разрушение взрывом и др. (табл. 1). Общим их недостатком является относительно небольшая производительность [2]. Из всех применяемых способов буровзрывное разрушение негабаритов горных пород является наиболее эффективным [4–7], но применение этого способа сдерживается вследствие применения разнородной техники, повышенной опасности и наличия определенных недостатков. Разрушение негабаритных кусков массовым взрыванием в карьерах приводит к необходимости решения ряда проблем, к которым относится длительная подготовка к взрыванию, остановка работы карьера, вывод людей и техники из карьера и т. д.

Таблица 1
Классификация методов вторичного дробления негабаритов

Table 1
Classification of secondary breaking methods

Класс разрушения негабаритов	Наименование метода разрушения	Используемая энергия	Методы разрушения	Недостатки	Преимущества
Разрушение электрическим током	Тепловой удар	Электрический ток	Электрофизический	Сложность доставки электрической энергии к месту расположения негабарита	Себестоимость разделки 1 м ³ негабарита в 1,5–2 раза ниже, чем при взрывном способе, не требует остановки карьера
	Ток промышленной частоты				
	Неравномерный диэлектрический нагрев				
Механическое воздействие на негабарит	Разрушение с использованием клина	Бурение шпуров с гидравлическим или пневматическим приводом	Раскол негабарита с помощью специнструмента	Низкая производительность, ненадежная конструкция, быстрый выход из строя сменного оборудования	Возможна работа на любом участке карьера, не требует остановки карьера
	Разрушение с использованием давления				
	Удар гидропневмобутобом	Механический удар			
Транспортирование негабарита	Вывоз на спецтранспорте	Двигатель внутреннего сгорания	Разрушение отсутствует	Ограничение в параметрах и массе негабарита, отсутствие спецтехники, вывоз только породы	Не требуется дополнительная энергия на разрушение
Разрушение взрывом	Кумулятивные накладные заряды	Энергия ВВ	Разрушение давлением	Наличие ручного труда, остановка карьера на период взрыва	Небольшая трудоемкость, отсутствие необходимости бурения шпуров
	Заклад зарядов в шпуры				
Использование сил гравитации	Сброс на нижние горизонты	Земное притяжение	Энергия гравитации	Не гарантируется разрушение при падении	Использование энергии гравитации
	Крановый бутобой		Падение на негабарит груза	Низкая производительность	

**Методология проведения исследования:
анализ методов вторичного дробления негабаритов**

Опыт разработки скальных пород показывает, что применение более прогрессивных способов ведения буровзрывных работ и увеличение размеров кондиционного куска за счет применения более мощного оборудования позволяют значительно снизить выход негабарита, но не исключают возможности полного отказа от вторичного дробления, так как применяются либо более дешевые, но менее эффективные взрывчатые вещества, либо удельный вес взрывчатого вещества не соответствует нормам из-за экономии денежных средств. Все это ведет к увеличению выхода негабаритных кусков.

Ввиду малого коэффициента полезного действия взрыва, который едва превышает 20–25%, большая часть энергии взрыва расходуется на его отрицательные последствия, действие ударно-воздушной волны; разлет взорванных кусков горной массы; распространение газообразных продуктов взрыва по массиву горных пород и в воздушном пространстве; поднятие пыли, затрудняющей ведение работы в карьерах.

Результаты

Повышение эффективности разрушения негабаритных кусков может быть достигнуто с помощью мобильной механизированной взрывкамеры (локализатора) [8; 9], которая может изготавливаться в различных вариантах (рис. 1, 2). В состав рассматриваемой мобильной взрывкамеры (локализатора) входит гусеничный транспортер или базовый автомобиль, у которого кабина водителя имеет броневую защиту; кран для подъема и перемещения специального укрытия с длиной стрелы до 20 м, грузоподъемностью до 10 т; буровая установка, размещенная на стреле манипулятора, которая обеспечивает подготовку к вторичному взрыванию горных пород, а также специальное укрытие для управления взрыванием негабаритных кусков (см. рис. 1, 2).

Основной принцип действия локализатора заключается в переводе отрицательных последствий взрыва в полезную работу, а именно для удержания локализатора на поверхности земли, а также усиления воздействия УВВ на негабарит путем создания в замкнутом пространстве локализатора квазирезонансного эффекта [10].

Газы взрыва, находясь в начальной стадии в сильно сжатом состоянии, расширяясь оказывают огромное давление на стенки подготовленного в негабарите шпура. Сжимаемость большинства горной массы на фронте детонационной волны значительно меньше сжимаемости газов, поэтому после подхода детонационной волны к стенкам шпура в газах возникает отраженная ударная волна, а во взрываемом негабарите – бегущая волна. Отраженная ударная волна затормаживает на определенный промежуток времени расширение газов взрыва, плотность которых при взрывчатом разложении заряда превышает начальную плотность ВВ в 1,3 раза. Инерция разрушаемого негабарита в начальный период также затормаживает процесс расширения газов. Поэтому при взрывчатом разложении заряда сильно сжатые газы в начальный момент устремляются вдоль шпура вслед за фронтом детонационной волны с начальной массовой скоростью, на выходе из шпура негабарита экранируются о корпус локализатора, создавая эффект резонансного разрушения горной массы и акустические, волновые и газо-поршневые нагрузки (рис. 3).

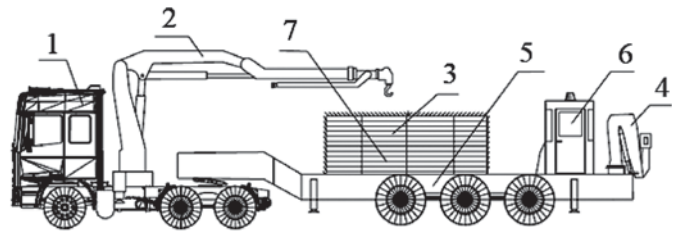


Рис. 1
Мобильная взрывкамера на полуприцепе:
1 – транспортное средство (автомобиль),
2 – кран с буровой установкой,
3 – взрывкамера (локализатор),
4 – манипулятор с буровой установкой,
5 – полуприцеп,
6 – специальное укрытие для экипажа,
7 – пневмостанция

Fig. 1
Mobile blasting chamber on a semi-trailer:
1 – a carrier vehicle (tractor),
2 – a crane with a drilling rig,
3 – a blasting chamber (safety screen),
4 – a mechanical arm with a drilling device,
5 – a semi-trailer,
6 – a special enclosure for the crew,
7 – an air compressor

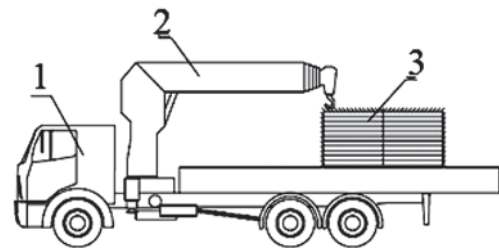


Рис. 2
Передвижная взрывкамера на автомобильном ходу:
1 – транспортное средство (автомобиль),
2 – кран,
3 – взрывкамера (локализатор)

Fig. 2
A career-mounted mobile blasting chamber:
1 – a carrier vehicle,
2 – a crane,
3 – a blasting chamber (safety screen)

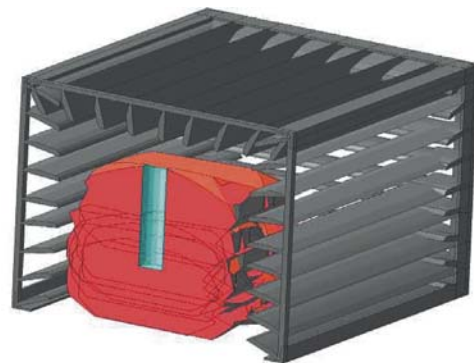


Рис. 3
Внешний вид предлагаемого локализатора

Fig. 3
Appearance of the proposed safety screen

В противоположном направлении начальная скорость движения продуктов детонации примерно в 1,5 раза меньше, чем в направлении детонации. По Л.Д. Ландау, давление газов в зарядной камере в момент окончания взрывчатого разложения распределяется неравномерно по всему объему заряда: на границе раздела заряд-негабарит оно максимально, а в центре заряда – минимально.

Таким образом, с момента, когда волна в газах взрыва от стенок шпура дойдет до оси локализатора, отразится и вновь достигнет границ раздела, начнется частичное локальное выравнивание давления газов в шпуре. При пря-

мом инициирования оно закончится, когда отраженная волна от дна шпура достигнет места инициирования, отразится от стенок локализатора и вернется ко дну шпура. При обратном инициировании оно закончится, когда после окончания детонации заряда волна отразится от торца локализатора (воздушной пробки), пройдет по газам ко дну шпура, отразится от него и вновь достигнет торца локализатора.

Таким образом, энергия взрыва заряда ВВ преобразуется как в ударные волны, так и в поршневое действие газов. По закону сохранения энергии ни одна из этих составляющих общей энергии взрыва заряда ВВ не исчезает бесследно. Поскольку между действием ударных волн и расширяющихся газов имеется определенная последовательность, зависящая от ряда параметров заряда и взрываемой среды, то для повышения степени использования энергии взрыва необходимо рационально использовать энергию каждой из этих двух составляющих с учетом, что скорость отраженной волны в газах взрыва до начала их расширения в среднем равна 0,7, т.е. появляется возможность создания резонансного разрушения негабаритов горной массы при уменьшении объема ВВ. Для удержания локализатора на земной поверхности используется принцип аэродинамического нагружения лопаток, входящих в состав локализатора.

При проведении всех мероприятий по созданию и дальнейшей эксплуатации мобильного локализатора удастся уменьшить радиус опасной зоны для людей и горной техники, а также повысить эффективность УВВ, соответственно сократить объем используемого ВВ при разделке негабаритов горной массы и уменьшить вредное экологическое воздействие на окружающую среду (рис. 4).

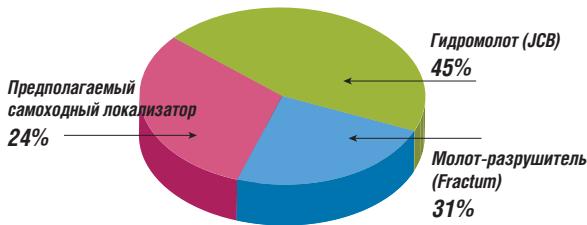


Рис. 4
Соотношение суммарных выбросов CO, C_mH_n, N_{ox} предлагаемого мобильного локализатора с существующими вариантами на 1 тонну разрушенной горной массы

Fig. 4
Ratio of the total CO, C_mH_n, N_{ox}, emissions of the proposed mobile safety screen to the other existing options per tonne of broken rock mass

Порядок работы мобильного локализатора заключается в следующем: экипаж, состоящий из водителя-крановщика и взрывника, подъезжают к участку карьера, на котором предварительно складированы негабаритные куски. При необходимости эти негабаритные куски перемещаются рабочим органом мобильного локализатора на удобное для взрывания место. Крановщик с помощью навесного оборудования бурит в негабаритном куске шпур, взрывник закладывает в него взрывчатку и подводит к нему детонирующий шнур. После этого крановщик переставляет с платформы автомобиля специальное укрытие на негабарит, которое закрепляется на месте взрывания. Экипаж укрывается в бронированной кабине мобильно-

го локализатора, откуда производится управление взрывом негабаритного куска. После осуществления взрыва специальное укрытие поднимается с поверхности земли и устанавливается краном на следующий негабарит или обратно на передвижную платформу и транспортируется до следующего склада негабаритов.

Для проведения экспериментальных исследований квазирезонансного воздействия УВВ на негабарит был изготовлен уменьшенного размера вариант локализатор (рис. 2), изготовленный предприятием ОАО «НИИПроектабест» на основе патентов на полезные модели [8; 9].

В ходе испытаний было проведено 5 экспериментальных взрывов с использованием зарядов весом 25, 50, 100, 150, 200 г аммонита 6ЖВ. При проведении внешнего осмотра и замеров межлопаточного расстояния было установлено, что деформация корпуса минимальна и составила по окончании эксперимента не более 1–5 мм, что подтверждает теоретические расчеты о многократном применении предлагаемой конструкции без ремонтных работ. Также экспериментально были подтверждены теоретические выводы о возможности разрушения негабаритов квазирезонансным разрушением, а степень уравновешенности локализатора на фундаменте определяется величиной соотношения опрокидывающего момента от равнодействующей квазирезонансной силы УВВ.

Использование мобильной взрывкамеры (локализатора) на горных предприятиях позволяет:

- сократить объем ручного труда при бурении шпуров, а следовательно, травматизма и профессиональных заболеваний, обусловленных работой с виброинструментом;
- увеличить производительность труда при бурении шпуров;
- сократить время простоев горнотранспортного оборудования, связанного с удалением и перемещением негабаритных кусков;
- устранить необходимость тщательной раскладки негабаритов, как это необходимо при ручном бурении шпуров;
- обеспечить возможность вести бурение рабочим инструментом максимальной длины.

Выводы

Для разрушения негабаритных кусков при ведении взрывных работ предлагается мобильная взрывкамера (локализатор). Применение данного устройства позволяет проводить разрушение негабаритов взрыванием практически в любом месте карьера без помощи дополнительной техники. В итоге повышается производительность работы горного предприятия, поскольку обеспечивается снижение трудоемкости работ и риска травматизма при проведении разрушения негабаритов, уменьшается риск получения некоторых профессиональных заболеваний, связанных с аналогичными видами работ в карьере. Кроме того, не требуется вывод людей и техники из карьера, не требуется полная остановка карьера. По сравнению с применяемыми методами разрушения негабаритов уменьшится вредное экологическое воздействие на окружающую среду. Также возможно применение мобильного локализатора для вспомогательных работ при строительстве дорог, особенно при подготовке горной массы к транспортированию на большие расстояния как автомобильным, так и железнодорожным транспортом.

Список литературы

1. Трубецкой К.Н., Рыльникова М.В. Состояние и перспективы развития открытых горных работ в XXI веке. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2015;(S45-1):21–32.
2. Кантович Л.И., Первов К.М. О некоторых проблемах разрушения горных пород на современном этапе. *Горное оборудование и электромеханика*. 2007;(1):11–12.
3. Jeswiet J., Szekeres A. Energy consumption in mining comminution. *Procedia CIRP*. 2016;48:140–145. DOI: 10.1016/j.procir.2016.03.250.
4. Ганапольский М.И., Барон В.Л., Белин В.А., Пупков В.В., Сивенков В.И. *Методы ведения взрывных работ. Специальные взрывные работы*. М.: Изд-во Московского гос. горного ун-та; 2004. 563 с.
5. Кутузов Б.Н. *Методы ведения взрывных работ*. Ч. 1. Разрушение горных пород взрывом. М.: Горная книга; 2007. 636 с.
6. Festa A., Putland B., Scinto P. Shedding light on secondary crushing. *Proceedings SME Annual Meeting*. 2014:14–160.
7. Трубецкой К.Н., Захаров В.Н., Викторов С.Д., Жариков И.Ф., Закалинский В.М. Взрывное разрушение массивов горных пород при освоении недр. *Проблемы недропользования*. 2014;(3):80–95. Режим доступа: <https://trud.igduran.ru/edition/3/9>
8. Тимухин С.А., Тарасов П.И., Тарасов С.П. Патент №101540 РФ, МПК Б42Д 5/00. Защитное устройство для разрушения негабаритов горных пород. Заявка 05.04.2010; опубликовано 20.01.2011 Бюл. № 2.
9. Тимухин С.А., Тарасов П.И., Тарасов С.П. Патент №107343 РФ, МПК Р42Д 3/04. Защитное устройство для разрушения негабаритов горных пород. Заявка 12.01.2011; опубликовано Бюл. №22.
10. Макаров В.Н., Тимухин С.А., Тарасов С.П. Автономный передвижной локализатор вторичного разрушения горных масс. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2017;(5):82–87.

References

1. Trubetskoy K.N., Rylnikova M.V. Situation and prospects of open-pit mining development in the XXI century. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2015;(S45-1):21–32. (In Russ.)
2. Kantovich L.I., Pervov K.M. On some current issues of rock breaking. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika = Mining Equipment and Electromechanics*. 2007;(1):11–12. (In Russ.)
3. Jeswiet J., Szekeres A. Energy consumption in mining comminution. *Procedia CIRP*. 2016;48:140–145. DOI: 10.1016/j.procir.2016.03.250.
4. Ganapolsky M.I., Baron V.L., Belin V.A., Pupkov V.V., Sivenkov V.I. *Methods of blasting operations. Special blasting operations*. Moscow: Moscow State Mining University; 2004. 563 p. (In Russ.)
5. Kutuzov B.N. *Methods of blasting operations*. Part 1. Rock destruction by blasting. Moscow: Gornaya kniga; 2007. 636 p. (In Russ.)
6. Festa A., Putland B., Scinto P. Shedding light on secondary crushing. *Proceedings SME Annual Meeting*. 2014:14–160.
7. Trubetskoy K.N., Zakharov V.N., Viktorov S.D., Zharikov I.F., Zakalinsky V.M. The explosive destruction of rocks mass in the development of mineral resources. *Problemy nedropolzovaniya*. 2014;(3):80–95. Available at: <https://trud.igduran.ru/edition/3/9>
8. Timukhin S.A., Tarasov P.I., Tarasov S.P. Patent No.101540 RF, МПК Б42Д 5/00. Protective device for secondary breaking down of oversize rock boulders. Application: 05.04.2010; published on 20.01.2011. Bull. No. 2.
9. Timukhin S.A., Tarasov P.I., Tarasov S.P. Patent No.107343 RF, МПК Р42Д 3/04. Protective device for secondary breaking down of oversize rock boulders. Application: 12.01.2011; published in Bull. No.22.
10. Makarov V.N., Timukhin S.A., Tarasov S.P. Standalone movable detector of secondary fracture in rock mass. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2017;(5):82–87. (In Russ.)

Информация об авторах

Тарасов Сергей Петрович – инженер, ООО «Перспектива-М»; г. Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: tp6005@mail.ru

Тарасов Петр Иванович – кандидат технических наук, заместитель директора по научной работе, ООО «Перспектива-М», действительный член Академии горных наук, г. Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: tp6005@mail.ru

Хазин Марк Леонтьевич – доктор технических наук, профессор, Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: Khasin@ursmu.ru

Information about the authors

Sergey P. Tarasov – Engineer, ‘Perspektiva-M’ LLC, Ekaterinburg, Russian Federation; e-mail: tp6005@mail.ru

Petr I. Tarasov – full member of the Russian Academy of Mining, Candidate of Science (Engineering), Deputy Director for Science, ‘Perspektiva-M’ LLC, Ekaterinburg, Russian Federation; e-mail: tp6005@mail.ru

Mark L. Khasin – Doctor of Engineering, Full Professor, Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russian Federation; e-mail: Khasin@ursmu.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 29.12.2020

Поступила после рецензирования: 15.01.2021

Принята к публикации: 20.01.2021

Article info:

Received: 29.12.2020

Revised: 15.01.2021

Accepted: 20.01.2021