

Обоснование размера охранной зоны буровзрывных работ при монтаже и эксплуатации солнечных панелей на борту карьера

И.А. Пыталев¹✉, Д.В. Доможиров¹, А.А. Полинов², Ю.К. Ильтинин³, В.В. Якшина

¹ Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Российская Федерация

² ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат», г. Магнитогорск, Российская Федерация

³ ООО «Бластинт интер солюшнс», г. Уфа, Республика Башкортостан, Российская Федерация

✉ vehicle@list.ru

Резюме: В статье рассмотрен способ повышения комплексности и полноты освоения участка недр путем подготовки откоса борта карьера для монтажа и обслуживания солнечных панелей. Обоснована возможность совмещения горных работ с применением буровзрывного способа подготовки пород к выемке и эксплуатации солнечной электростанции. Разработана схема к расчету охранной зоны и предложена методика определения ее минимального размера, обеспечивающего безопасный монтаж и эксплуатацию на верхних уступах карьера установок по преобразованию солнечной энергии в электрическую. Установлены зависимости размера охранной зоны от удаления участков ведения горных работ как в плане, так и с учетом абсолютных отметок от мест установки солнечных панелей. Даны рекомендации по совмещению горных работ с монтажом и обслуживанием солнечных панелей, установленных на верхних уступах карьера. В результате исследований выявлено, что при установке солнечных панелей на верхних уступах борта карьера их безопасная эксплуатация при ведении буровзрывных работ без специальных мероприятий возможна на расстоянии 90 м и более в зависимости от конструкции откоса борта. При этом по мере понижения горных работ размер минимальной охранной зоны снижается до 40 м.

Ключевые слова: борт карьера, параметры буровзрывных работ, солнечные панели, охранная зона, породы вскрыши, разлет кусков

Для цитирования: Пыталев И.А., Доможиров Д.В., Полинов А.А., Ильтинин Ю.К., Якшина В.В. Обоснование размера охранной зоны буровзрывных работ при монтаже и эксплуатации солнечных панелей на борту карьера. *Горная промышленность*. 2025;(5):49–54. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-5-49-54>

Justification of the safety zone size for drilling and blasting operations when solar panels are installed and operated on the pit wall

I.A. Pytalev¹✉, D.V. Domozhirov¹, A.A. Polinov², Y.K. Iltinin³, V.V. Yakshina¹

¹ Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation

² Magnitogorsk Iron and Steel Works, Magnitogorsk, Russian Federation

³ Blastint Inter Solutions LLC, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russian Federation

✉ vehicle@list.ru

Abstract: The article considers a way to increase the level of integration and completeness of the development of a mine allotment by preparing a pit wall for the installation and maintenance of solar panels. The possibility is justified of combining mining operations using the drilling and blasting method for rock breaking with operation of a solar power plant. A scheme for calculating the safety zone has been developed and a method for determining its minimum size has been proposed, ensuring safe installation and operation of the solar energy conversion plants on the upper benches of the open-pit. The dependences of the safety zone size on the removal of rock mass have been established, both in plan view and with account of the actual elevations with reference to the solar panels locations. Recommendations are given on combining mining operations with the installation and maintenance of solar panels installed on the upper benches of the open-pit. The research has shown that when the solar panels are installed on the upper benches of the open pit, their safe operation during the drilling and blasting operations is possible without any special measures at a distance of 90 m or more, depending on the highwall slope design. At the same time, as the mining operations progress downwards, the minimum safety zone is reduced to 40 m.

Keywords: pit wall, drilling and blasting parameters, solar panels, safety zone, overburden rocks, flyrock travel

For citation: Pytalev I.A., Domozhirov D.V., Polinov A.A., Iltinin Y.K., Yakshina V.V. Justification of the safety zone size for drilling and blasting operations when solar panels are installed and operated on the pit wall. *Russian Mining Industry*. 2025;(5):49–54. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-5-49-54>

Введение

Горнодобывающие предприятия в современных условиях ведения открытых горных работ вынуждены осуществлять поиск технических и технологических решений, направленных на повышение эффективности функционирования. На фоне постоянного усложнения горно-геологических и горнотехнических условий разработки месторождений твердых полезных ископаемых наблюдается ужесточение требований не только к экологической безопасности ведения горных работ, но и повышению энергоэффективности горного производства [1]. При этом данные требования распространяются не только на период непосредственного ведения добычных работ, но и на период производства работ по восстановлению нарушенных земель.

В горной промышленности имеется положительный опыт строительства и эксплуатации солнечных и ветряных электростанций на территории горнодобывающего предприятия и разрабатываемых месторождений [2]. Однако подавляющее большинство отечественных и зарубежных примеров сводится к реализации возможности установки солнечных панелей и ветрогенераторов на землях, нарушенных горными работами в рамках их рекультивации, или на отдельно отчуждаемых территориях. Поэтому отсутствие научно-методических рекомендаций и технологических решений по рациональному использованию выработанного пространства карьера и пород вскрыши для вовлечения в эксплуатацию источников возобновляемой энергии сдерживает целенаправленное формирование техногенных емкостей и ландшафта в качестве областей концентрации природной энергии и устройств, компенсирующих ее непостоянство [3].

На основе имеющегося положительного зарубежного и отечественного опыта строительства ветрогенераторов и солнечных электростанций на базе отработанных карьеров, законсервированных хвостохранилищ и золоотвалов, а также тенденций к увеличению объема ввода в эксплуатацию альтернативных источников энергии разработка технологических решений по эффективному использованию возобновляемых источников энергии при формировании горнотехнической системы является перспективным направлением повышения полноты и комплексности освоения участка недр Земли. Реализация данных решений обеспечит не только выработку электроэнергии, но и снижение затрат на рекультивацию при возможности ее выполнения в период добычи полезных ископаемых [4]. В связи с этим создание и реализация условий использования возобновляемой энергии непосредственно в процессе добычи полезных ископаемых позволят повысить эффективность добычи, экологическую безопасность горнодобывающих предприятий и комплексность освоения участка недр при одновременной рекультивации нарушенных земель.

Поэтому обоснование конструкции борта карьера и его целенаправленное формирование для установки солнеч-

ных панелей и обеспечения возможности совмещения горных работ с их монтажом и эксплуатацией является актуальной научно-практической задачей.

Методы исследования

Обоснование подхода к целенаправленному формированию конструкции откоса верхних уступов борта карьера, обеспечивающей эффективное использование возобновляемой энергии, базируется на анализе опыта строительства и эксплуатации объектов преобразования солнечной энергии, а также горнотехнических сооружений, сформированных в качестве техногенных емкостей и ландшафта. Обоснование конструкции и параметров откоса верхних уступов борта карьера и оценка количественных показателей эффективности ведения горных работ и создаваемой полезной площади инсоляции выполнены на основе математического, каркасного, блочного и имитационного моделирования горнотехнической системы.

Результаты

Достижения современных технологий в области производства, строительства и эксплуатации солнечных панелей и электростанций на их основе позволяют их монтировать практически без ограничений во всех климатических зонах и без достаточной инсоляции¹. Применительно к осваиваемому участку недр использование солнечных панелей ограничивается стадией ведения горных работ. Весь имеющийся опыт реализован в условиях отсутствия добычных работ [5]. Именно влияние негативных факторов взрыва является основным ограничивающим условием, препятствующим совмещению работ по монтажу солнечных панелей и эксплуатации в выработанном пространстве карьера созданных на их основе электростанций.

Эффективность комплексного освоения участка недр при установке на элементах горнотехнической системы солнечной электростанции обеспечивается минимальным сроком ввода ее в эксплуатацию. При этом выполняемое борта карьера в соответствии с заданной конструкцией и параметрами требует, помимо привлечения дополнительного горнотранспортного оборудования, реализации мероприятий по компенсации снижения производительности карьера по горной массе.

С целью одновременного решения трех задач, обеспечивающих низкие сроки ввода в эксплуатацию солнечных панелей на северном борту карьера, безопасность их монтажа и эксплуатации без прекращения горных работ и исключение снижения производительности карьера по полезному ископаемому, проведены исследования параметров буровзрывной подготовки горных пород к выемке при обеспечении безопасности охраняемых зон. При этом охраняемыми зонами являются верхние уступы карьера,

¹ Электроснабжение месторождений. Век солнечной энергетики. Режим доступа: <https://dprom.online/unsolution/elektrosnabzhenie-mestorozhdenij-vek-solnechnoj-energetiki/> (дата обращения: 27.06.2025).

на которых планируется установить солнечную электростанцию. С точки зрения опасных факторов взрыва для монтируемых солнечных панелей особую опасность представляет разлет кусков горной породы при производстве массовых взрывов вблизи верхних уступов северного борта карьера. Поэтому предложены и обоснованы мероприятия, обеспечивающие снижение трудоемкости классических решений, направленных на снижение зоны разлета кусков, к которым, как правило, относится укрытие непосредственно охраняемого объекта, а также укрытие места взрыва [6].

С целью определения минимального расстояния от верхних уступов северного борта карьера с установленными солнечными панелями, на котором возможно вести горные работы с применением буровзрывных работ с учетом разности отметок горизонтов, разработана методика расчета минимального безопасного расстояния ведения БВР по разлету кусков². Принципиальная схема к расчету минимального безопасного расстояния ведения БВР от участка с установленными солнечными панелями представлена на рис. 1.

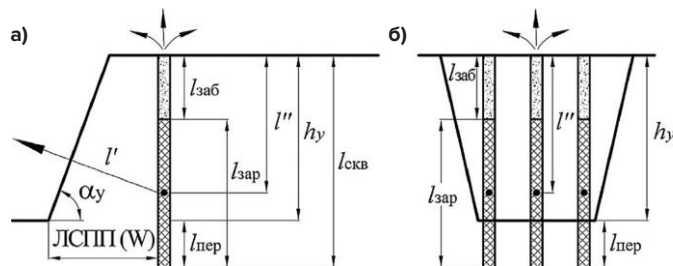


Рис. 1
Принципиальная схема к расчету минимального безопасного расстояния ведения БВР от участка с установленными солнечными панелями при уступной отбойке (а) и проходке траншеи (б):
 l' – расстояние от центра заряда до откоса уступа;
 l'' – расстояние от центра заряда до устья скважины;
ЛСПП (W) – наименьшая линия сопротивления по подошве;
 $l_{заб}$ – длина забойки;
 $l_{зар}$ – длина заряда;
 $l_{пер}$ – длина перебура;
 $l_{скв}$ – длина скважины

Fig. 1
A schematic diagram for calculating the minimum safe distance from the site with the installed solar panels when conducting the drilling and blasting operations in the bench blasting (a) and trenching (b):
 l' – the distance from the center of the charge to the bench slope;
 l'' – the distance from the center of the charge to the borehole collar;
ЛСПП (W) – the line of least resistance along the foot wall;
 $l_{заб}$ – the length of stemming;
 $l_{зар}$ – the charge length;
 $l_{пер}$ – the overdrill distance;
 $l_{скв}$ – the borehole depth

Расчет минимального безопасного расстояния ведения БВР от участка с установленными солнечными панелями по разлету кусков базируется на минимальном разрешенном расстоянии³ [7] при ведении массовых взрывов в 200 м. Согласно схеме на рис. 2 наиболее вероятное направление прорыва продуктов детонации и, как следствие, разлета осколков горных пород при взрыве [8] возможно описать двумя условиями:

В сторону устья скважины

$$l' \left(\frac{l_{заб}}{2} + l_{заб} \right) = W = l'' \rightarrow (l' \cdot l'') = W. \quad (1)$$

В грудь забоя

$$\left(\frac{l_{заб}}{2} + l_{заб} \right) l' = W \rightarrow l' = W / l''. \quad (2)$$

В соответствии с описанными формулами (1) и (2) условиями прорыва продуктов детонации, а также минимальными требованиями по разлету кусков в 200 м в работе определена первоначальная скорость полета куска для наиболее распространенных параметров БВР на месторождениях Южного Урала:

- высота уступа $h_y = 10$ м;
- глубина вертикальных скважин $L_c = 11,5–12$ м;
- диаметр скважин $d_c = 0,165–0,220$ м;
- (мб длина) перебур $l_n = 1,5–2,0$ м;
- сетка скважин $a \times b = 5 \times 5$ и $6,0 \times 6,0$ м;
- угол откоса уступа $\alpha_y = 70$ град;
- линия сопротивления по подошве уступа $W = 6$ м;
- масса заряда в скважине $Q_c = 123–304$ кг;
- длина заряда в скважине $l_3 = 5,5–8,0$ м;
- вместимость 1 м скважины при $P = 21,4–38,0$ кг/м;
- коэффициент заполнения скважины зарядом $\eta_3 = l_3 / L_c = 0,45–0,65$;
- относительное расстояние между скважинами $a^* = a / d = 6/0,220–5/0,165 = 27,3–30,2$;
- длина надзарядной (свободной от заряда) части скважины $l_{св} = L_c - l_3 = 4,0–6,0$ м;
- коэффициент заполнения забойкой части скважины над зарядом $\eta_{заб} = h_{заб} / l_{св} = 1$, т.е. $h_{заб} = l_{св} = 4,0–6,0$ м. В качестве забойки применяется буровая мелочь;
- коэффициент крепости взрываеваемых пород по М.М. Протодяконову $f = 9–14$.

Охраняемая зона при производстве взрывных работ на одном или на нижележащих горизонтах вблизи северного борта карьера с учетом установки на нем солнечных панелей определяется не только первоначальной скоростью куска, но и максимальной высотой его полета [9; 10]. Схема к расчету максимальной высоты разлета осколков взрыва представлена на рис. 2.

Разлет кусков горной массы происходит по баллистической траектории в условиях действия гравитации, поэтому систему уравнений для определения максимальной вы-

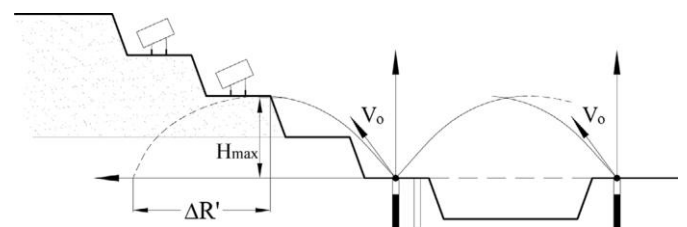


Рис. 2
Схема к расчету максимальной высоты разлета осколков взрыва:
 $\Delta R'$ – сокращение нормативного размера охранной зоны с учетом траектории разлета осколков взрыва и результирующего угла откоса

Fig. 2
A schematic diagram for calculating the maximum height of the flyrock travel:
 $\Delta R'$ – reduction of the standard size of the safety zone with account of the flyrock travel path and the resulting slope angle

² Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности при производстве, хранении и применении взрывчатых материалов промышленного назначения»: приказ Ростехнадзора от 3 декабря 2020 г. №494.

³ Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности при производстве, хранении и применении взрывчатых материалов промышленного назначения»: приказ Ростехнадзора от 3 декабря 2020 г. №494.

ты $H_{\max}^{\text{разл}}$ и дальности $R_{\max}^{\text{разл}}$ их полета можно представить в следующем виде:

$$\begin{cases} H_{\max}^{\text{разл}} = \frac{V_0^2 \cdot \sin^2 \alpha}{2 \cdot g}; \\ R_{\max}^{\text{разл}} = \frac{V_0^2 \cdot \sin 2\alpha}{g}, \end{cases} \quad (3)$$

где V_0 – первоначальная скорость полета куска, м/с; α – угол вылета куска, град; g – ускорение свободного падения, м/с².

В результате решения системы уравнений (3) возможно определить первоначальную скорость полета куска горной массы

$$V_0 = \sqrt{\frac{R_{\max}^{\text{разл}} \cdot g}{\sin 2\alpha}}, \quad (4)$$

По минимальной зоне разлета кусков, равной 200 м, и наиболее часто используемых параметров БВР на карьерах Южного Урала установлены минимальные первоначальные скорости разлета осколков взрыва при различных углах вылета ⁴ (табл. 1).

Таблица 1
Минимальные первоначальные скорости разлета осколков взрыва

$R_{\max}^{\text{разл}}$, м	α , град				
	45°	50°	60°	70°	80°
200	45	45	48	55	76
300	54	55	58	68	93
400	63	63	67	78	107

С учетом минимальной первоначальной скорости разлета максимальная высота осколков взрыва может быть определена по формуле

$$H_{\max}^{\text{разл}} = \frac{V_0^2 \cdot \sin^2 \alpha}{2 \cdot g}. \quad (5)$$

Результаты расчета минимальной первоначальной скорости разлета и максимальной высоты осколков взрыва представлены в табл. 2.

Таблица 2
Минимальная первоначальная скорость разлета и максимальная высота осколков взрыва

V_0 , м	α , град				
	45°	50°	60°	70°	80°
45	50/200	59/197	75/173	88/129	97/63
54	75/300	88/295	112/260	132/193	145/103
63	100/400	117/394	150/347	177/27	194/137

⁴ Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности при производстве, хранении и применении взрывчатых материалов промышленного назначения»: приказ Ростехнадзора от 3 декабря 2020 г. № 494.

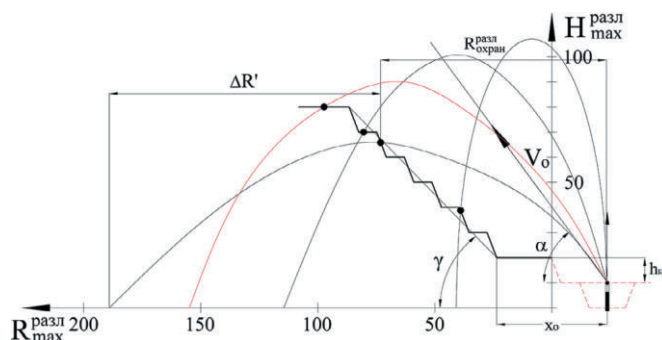


Рис. 3
Схема к расчету охраняемой зоны разлета кусков взрыва:
 $h_{\text{бвр}}$ – разница высотных отметок нижней бровки охраняемого уступа и горизонта ведения БВР, м;
 γ – результирующий угол верхних уступов северного борта карьера, град

Fig. 3
A schematic diagram for calculation of the flyrock safety zone:
 $h_{\text{бвр}}$ – the difference in the elevations of the lower edge of the protected bench and the drilling and blasting level, m;
 γ – the resulting angle of the upper benches of the northern pit wall, deg.

Схема к расчету минимальной охраняемой зоны с учетом ведения буровзрывных работ на одном или нижележащем горизонте, совмещенная с декартовой системой координат, представлена на рис. 3.

Сокращение величины нормативного размера охранной зоны с учетом траектории разлета осколков взрыва и результирующего угла откоса определяется по формуле

$$\Delta R' = R_{\max}^{\text{разл}} - R_{\max}^{\text{охран}}. \quad (6)$$

С целью нахождения точки пересечения траектории разлета кусков горной массы при взрыве с линией результирующего угла откоса верхних уступов борта карьера в декартовой системе координат следует представить в виде системы уравнений соответствующих линий

$$\begin{cases} y = (x - x_0) \\ y = \left(x \cdot \tan \alpha - \frac{g \cdot x^2}{2 \cdot V_0^2 \cdot \cos^2 \alpha} \right) - h_{\text{бвр}} \end{cases} \quad (7)$$

Расчет охраняемой зоны $R_{\max}^{\text{охран}}$ при монтаже и эксплуатации солнечных панелей с учетом ведения буровзрывных работ на одном или нижележащем горизонте следует производить по формуле

$$R_{\max}^{\text{охран}} = \frac{V_0^2 \cdot \cos^2 \alpha \cdot (tg \gamma - tg \alpha) + \sqrt{(tg \gamma - tg \alpha)^2 - \frac{2gx^2}{V_0^2 \cdot \cos^2 \alpha} \cdot (x_0 \cdot tg \gamma + h_{\text{бвр}})}}{gx^2}, \quad (8)$$

где x_0 – расстояние от места взрыва до нижней бровки охраняемого уступа, м.

Результаты исследования размера охранной зоны от результирующего угла откоса верхних уступов борта карьера и разницы высотных отметок нижней бровки охраняемого уступа и горизонта ведения БВР представлены на рис. 4.

В результате исследований выявлено, что при установке солнечных панелей на верхних уступах борта карьера их безопасная эксплуатация при ведении буровзрывных работ без специальных мероприятий возможна на расстоянии 90 м и более в зависимости от конструкции откоса борта. При этом по мере понижения горных работ размер минимальной охранной зоны снижается до 40 м.

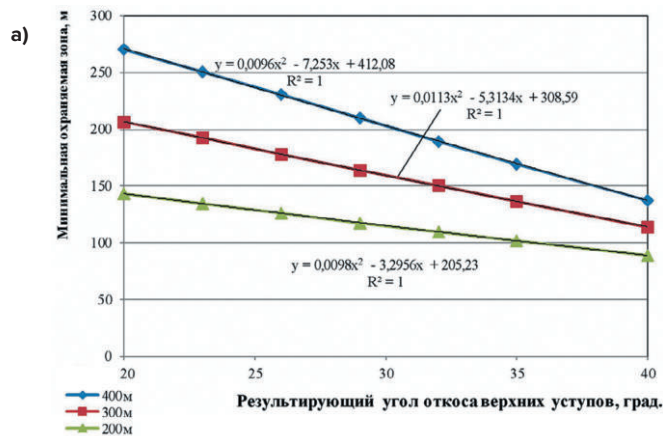


Рис. 4
Зависимость охраняемой зоны от результирующего угла откоса (а) и разницы высотных отметок нижней бровки охраняемого уступа и горизонта ведения БВР (б)

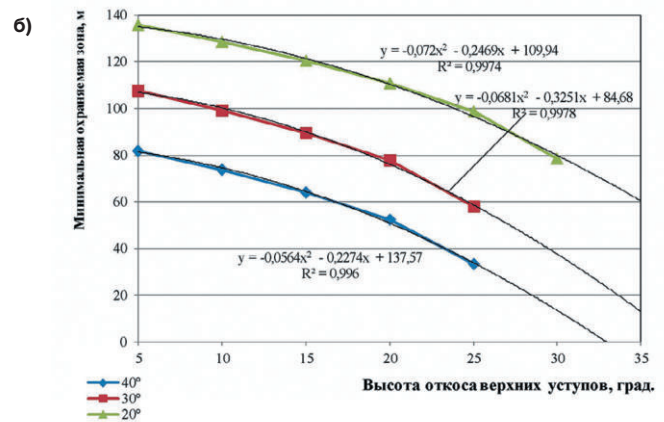


Fig. 4
The dependence of the safety zone from the resulting slope angle (a) and the difference in the elevations of the lower edge of the protected bench and the drilling and blasting level (b)

Закключение

Повышение полноты освоения участка недр при открытом способе разработки месторождений твердых полезных ископаемых возможно обеспечить путем целенаправленного формирования откоса верхних уступов борта карьера для установки солнечных панелей. При этом их монтаж и ввод в эксплуатацию непосредственно в период ведения горных работ достигается обоснованием параметров буровзрывных работ и определением минимальной охранной зоны, исключающей попадание за ее границу кусков горной породы при разлете в период проведения массовых взрывов. Разработанная схема к расчету охранной зоны и предложенная методика определения ее минимального размера обеспечивают безопасный монтаж

и эксплуатацию на верхних уступах карьера установок по преобразованию солнечной энергии в электрическую при совмещении добычных работ и мероприятий по восстановлению земель, нарушенных горными работами. Таким образом, обоснованная конструкция откоса верхних уступов борта карьера и рассчитанная минимальная охранная зона позволяют, не снижая производительности карьера, при заблаговременной постановке борта карьера в предельное положение обеспечить безопасность ведения горных работ, повысить эффективность добычи твердых полезных ископаемых при снижении сроков рекультивации земель, нарушенных горными работами.

Список литературы / References

1. Пыталев И.А. Обоснование параметров открытой геотехнологии комплексного освоения крутопадающих месторождений для устойчивого развития горнотехнических систем [дис. ... д-ра техн. наук]. Магнитогорск; 2019. 360 с.
2. Юн А.Б., Рыльникова М.В., Терентьева И.В., Юн Ю.А. Стратегия комплексного освоения природных и техногенных георесурсов Жезказганского региона. Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2019;(3): 213–224.
Yun A.B., Rylnikova M.V., Terentyeva I.V., Yun Yu.A. Strategy for comprehensive development of natural and anthropogenic geo-resources of the Zhezkazgan region. Izvestiya Tulsckogo Gosudarstvennogo Universiteta. Nauki o Zemle. 2019;(3):213–224. (In Russ.)
3. Трубецкой К.Н., Захаров В.Н., Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В. Эффективные технологии использования техногенных георесурсов – основа экологической безопасности освоения недр. Горный журнал. 2016;(5):34–40. <https://doi.org/10.17580/gzh.2016.05.03>
Trubetskoy K.N., Zakharov V.N., Kaplunov D.R., Rylnikova M.V. Efficient technologies for mineral waste use – The basis of the environmental safety of subsoil development. Gornyi Zhurnal. 2016;(5):34–40. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2016.05.03>
4. Пыталев И.А., Якшина В.В., Козловский А.А., Полинов А.А. Обоснование системы разработки с внутренним отвалообразованием при освоении крутопадающего месторождения Курасан. Рациональное освоение недр. 2022;(4):34–38. <https://doi.org/10.26121/RON.2022.78.94.005>
Pytalev I.A., Yakshina V.V., Kozlovsky A.A., Polinov A.A. Justification of the mining method with inside dumping during the development of the steeply dipping Kurasan deposit. Ratsionalnoe Osvoenie Nedr. 2022;(4):34–38. (In Russ.) <https://doi.org/10.26121/RON.2022.78.94.005>

5. Степаненко В.П., Мальшаков И.Н. Перспективы применения в горной промышленности суперконденсаторных накопителей и возобновляемых источников энергии. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2017;(6):153–163. Режим доступа: https://giab-online.ru/files/Data/2017/6/153_163_6_2017.pdf (дата обращения: 27.05.2025).
Stepanenko V.P., Mal'shakov I.N. Prospects for supercapacitors and renewable energy sources in mining industry. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2017;(6):153–163. (In Russ.) Available at: https://giab-online.ru/files/Data/2017/6/153_163_6_2017.pdf (accessed: 27.05.2025).
6. Доможиров Д.В. Развитие методологии управления качеством минерального сырья путем разработки технологии и обоснования параметров подготовки к выемке горных пород сложноструктурных месторождений [дис. ... д-ра техн. наук]. Магнитогорск; 2023. 352 с.
7. Черских О.И., Галимьянов А.А., Корнеева С.И., Мишнев В.И. Уточненная формула для определения радиуса опасной зоны по разлету отдельных кусков горной массы при взрывании скважинных зарядов. *Уголь*. 2023;(5):50–54. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2023-5-50-54>
Cherskikh O.I., Galimyanov A.A., Korneeva S.I., Mishnev V.I. Refined formula for determining the radius dangerous zone for the scattering of individual pieces of rock mass during the explosion of borehole charges. *Ugol'*. 2023;(5):50–54. (In Russ.) <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2023-5-50-54>
8. Сашурин А.Д., Панжин А.А., Мельник В.В. Обеспечение устойчивости бортов карьеров в целях защиты потенциально опасных участков транспортных берм. *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. 2016;14(3):5–12. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2016-14-3-5-12>
Sashourin A.D., Panzhin A.A., Melnik V.V. Securing open-pit walls for protection of hazardous areas of haulage benches. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*. 2016;14(3):5–12. (In Russ.) <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2016-14-3-5-12>
9. Gui Y.L., Zhao Z.Y., Jayasinghe L.B., Zhou H.Y., Goh A.T.C., Tao M. Blast wave induced spatial variation of ground vibration considering field geological conditions. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2018;101:63–68. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2017.11.016>
10. Thang D.T., Doanh T.V., Viet T.D., Tho T.D.: Study on the reasonable parameters of the cylinder shaped charge with tapered liner funnel to destroy stone. In: *International Symposium on Rock Mechanics and Engineering. The 35th VSRM Anniversary ISRM 2019 Specialized Conference, 22–24 November 2019*. Hanoi, 2019, pp. 118–130.

Информация об авторах

Пытаев Иван Алексеевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры разработки месторождений полезных ископаемых, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-5415-8079>; e-mail: vehicle@list.ru

Доможиров Дмитрий Викторович – доктор технических наук, профессор кафедры разработки месторождений полезных ископаемых, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0001-9904-5820>

Полинов Андрей Александрович – кандидат технических наук, главный металлург, ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат», г. Магнитогорск, Российская Федерация

Ильтин Юлай Каримович – инженер, ООО «Бластинт интер солюшнс», г. Уфа, Республика Башкортостан, Российская Федерация

Якшина Виктория Владимировна – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры разработки месторождений полезных ископаемых, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Российская Федерация

Information about the authors

Ivan A. Pytalev – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Mining, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-5415-8079>; e-mail: vehicle@list.ru

Dmitry V. Domozhirov – Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Department of Mining, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0001-9904-5820>

Andrey A. Polinov – Cand. Sci. (Eng.), Chief Metallurgist, PJSC Magnitogorsk Iron and Steel Works, Magnitogorsk, Russian Federation

Yulai K. Iltin – Engineer, Blastint Inter Solutions LLC, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russian Federation

Viktoria V. Yakshina – Cand. Sci. (Eng.), Senior Lecturer of the Department of Mineral Deposits Development. Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation

Article info

Received: 01.06.2025

Revised: 10.07.2025

Accepted: 23.07.2025

Информация о статье

Поступила в редакцию: 01.06.2025

Поступила после рецензирования: 10.07.2025

Принята к публикации: 23.07.2025