

# Отработка угольных целиков унифицированными выемочными модулями локальными забоями

Ж.М. Гаращенко✉, В.А. Теремецкая, В.В. Габов

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация  
✉ s215047@stud.spmi.ru

**Резюме:** Практически все применяемые технологии подземной добычи угля сопровождаются формированием угольных целиков, различных по назначению, геометрическим параметрам, условиям залегания и выполняемым функциям, в пределах полей действующих шахт. В целиках сосредоточены значительные запасы угля, пригодные к выемке. Совершенствование процесса отработки угольных целиков, находящихся в благоприятных условиях, уже выполнивших свои основные и вспомогательные назначенные функции, является актуальным, в связи с невозможностью этих запасов. Большинство процессов в горных технологиях структурированы и взаимосвязаны. Системный подход к выявлению этих связей позволяет сформировать требования к процессу отработки целиков локальными забоями и управляемому отделению угля. В статье рассмотрены структура и параметры угольных целиков как объектов отработки, проанализирован механический способ их отработки с отделением угля от массива уступной технологией обработки забоев. Проанализированы основные конкурирующие способы отделения угля от массива взамен резания, принято скалывание угля от целиков структурными блоками заданных размеров. Определено понятие «локальный забой» для отработки угольных целиков. Предложена и описана схема локального забоя. На основе анализа процесса отработки целиков локальными забоями описана структура технологического процесса и технических средств в виде унифицированного выемочного модуля для отработки целиков с отделением угля от массива структурными блоками. Предложен параметр кратности «а», отражающий значимость и взаимосвязь прочностных, технологических и технических факторов от размеров отделяемых блоков. Параметр «а» характеризует взаимосвязь размеров отделяемых кусков угля и массива с параметрами локального забоя, а именно технологического процесса и технических средств.

**Ключевые слова:** шахта, уголь, целик, отработка целика, унифицированный выемочный модуль, локальный забой, уступная технология, структурный блок, параметр кратности

**Благодарности:** Автор выражает признательность коллегам за помощь, вклад которых в данную работу носит чисто технический характер.

**Для цитирования:** Гаращенко Ж.М., Теремецкая В.А., Габов В.В. Отработка угольных целиков унифицированными выемочными модулями локальными забоями. *Горная промышленность*. 2024;(5S):151–157. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-5S-151-157>

## Mining of coal pillars using unified excavation modules with local faces

Zh.M. Garashchenko✉, V.A. Teremetskaya, V.V. Gabov

Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russian Federation  
✉ s215047@stud.spmi.ru

**Abstract:** Almost all of the applied technologies of underground coal mining are associated with formation of coal pillars within the limits of the operating mines. These pillars have different purposes, geometrical parameters, occurrence conditions and the functions they perform. Significant coal reserves suitable for excavation are located in the pillars. Improvement of the mining process of the coal pillars that are in favourable conditions and have already fulfilled their main and subsidiary designated functions, is urgent because these reserves are unrecoverable. Most processes in mining technologies are structured and interconnected. The system approach to identification of these relationships allows to form requirements to the process of pillar mining by local faces and controlled coal breaking. The article considers the structure and parameters of the coal pillars as mining objects; it analyses the mechanical method of their mining with coal breaking using the heading-and-bench technology. The main competing methods of coal breaking are analysed, instead of cutting, shearing of coal off the pillars using structural blocks of the given sizes is accepted. The concept of the 'local face' for coal pillars extraction is defined. A scheme of the local face is proposed and described. The structure of the technological process and technical means in the form of a unified excavation module for extraction of pillars with coal breaking using structural blocks is described based on the analysis of the pillar mining process

using local faces. There proposed the 'a' multiplication parameter that reflects the significance and correlation between the strength, technological and technical factors and the size of the separated blocks. The 'a' parameter characterises the correlation between the sizes of the coal lumps separated from the coal mass and the parameters of the local face, namely the technological process and technical means.

**Keywords:** mine, coal, pillar, pillar extraction, unified excavation module, local face, heading-and-bench technology, structured block, multiplication parameter

**Acknowledgments:** The authors express their gratitude to colleagues for their assistance, whose contribution to this work is purely of the technical nature.

**For citation:** Garashchenko Zh.M., Teremetskaya V.A., Gabov V.V. Mining of coal pillars using unified excavation modules with local faces. *Russian Mining Industry*. 2024;(5S):151–157. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-5S-151-157>

## Введение

Несмотря на возникающие в последнее время дискуссии о низкой конкурентной способности использования угля как одного из важнейших мировых ресурсов [1; 2] в сравнении с нефтью и газом, уголь обеспечивает на обозримый период времени устойчивое функционирование энергетической [3] и химико-технологической отраслей промышленности страны [4]. Запасы каменных углей [5] расположены в разнообразных горно-геологических условиях, распределены в угленосных отложениях неравномерно, относятся к невозобновляемым ресурсам [6], что осложняет планирование и организацию процесса их добычи.

Практически все применяемые технологии подземной добычи [7; 8] угля сопровождаются формированием в пределах шахтного поля целиков разнообразных форм, размеров и назначения [10]. Объемы полезного ископаемого в целиках достигают 30 % от общих запасов [11; 12]. При этом значительная часть оставшихся целиков, первоначально предназначенных для поддержания кровли и управления горным давлением [13; 14], по мере отработки пласта остается потерянной. Отработка таких целиков в рамках инновационных технологий требует разработки новых средств для их осуществления [15; 16], обеспечивающих эффективность и безопасность проведенных работ. Отношение к интенсивности, очерёдности и полноте извлечения [17] таких целиков должно учитывать устойчивые длительные действующие тенденции, в частности, изменение горно-геологических условий [18] добычи угля, развитие технологии и техники добычи, изменение требований к качеству продукта.

## Методология

Выявление взаимосвязи смежных процессов с процессом отработки целиков является важной задачей обеспечения комплексного подхода к обоснованию рациональной структуры технологического процесса и технических средств для их отработки.

Все процессы в горных технологиях [19] в большей степени структурированы [20; 21] и их структурные схемы [22; 23] между собой согласованы, а процессы взаимозависимы. Аналогично и подход к формированию требований к процессу отработки целиков локальными забоями и к отделению угля от массива (ОУМ) должен быть структурированным, в основу которого должны быть положены качество [24; 25] получаемого продукта по крупности, последовательность отработки забоя и устойчивость процесса отделения угля от массива, обеспечиваемого выбором па-

раметров врубовой полости и формы поверхности локального забоя, удельным расходом энергии, интенсивностью пылеобразования и в итоге безопасностью горных работ.

## Результаты и их обсуждение

Механический способ отделения угля от массива является одним из экономичных и простых с точки зрения технической реализации способов по сравнению с взрывным или гидравлическим [26]. Как известно, из механических способов отделения угля от массива [27] наиболее широко применяются: резание, скалывание, комбинирование резания и скалывания, удар [28; 29].

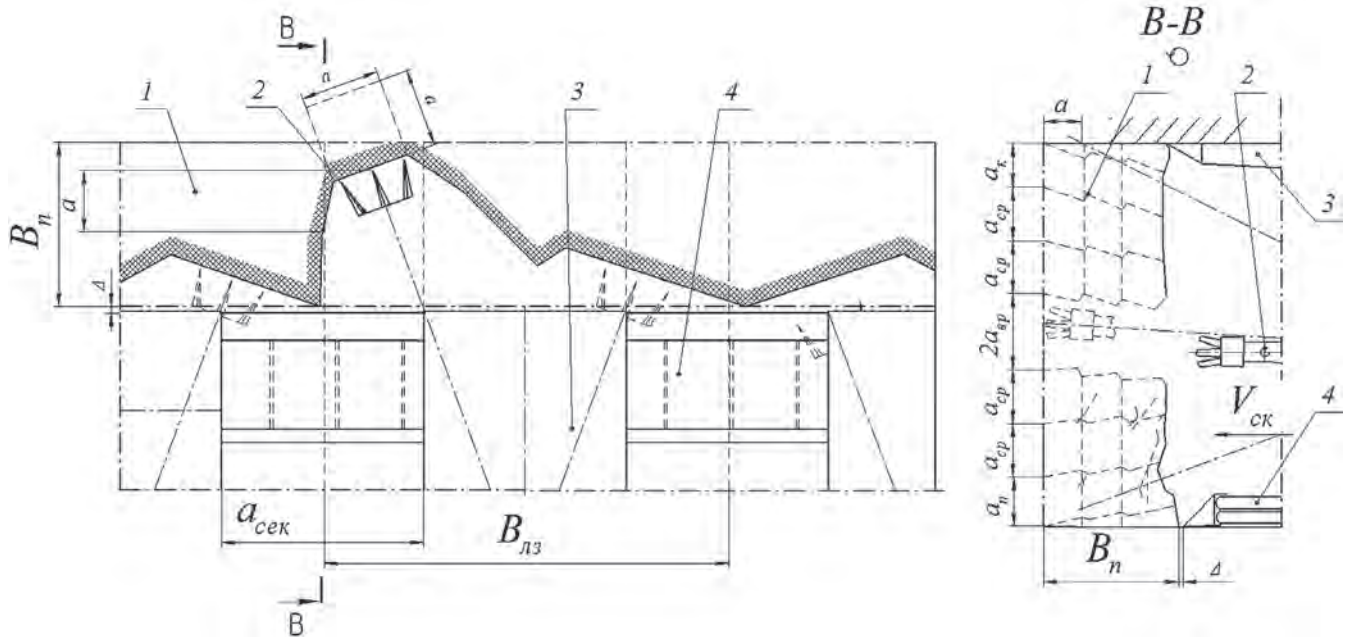
В связи с тем что угольный массив по природе своей структурирован и, следовательно, силы сопротивления массива разрушению в различных направлениях разные, рационально переходить к такому способу отделения угля от массива, который позволит формировать скол с заданными параметрами, а именно к скалыванию структурными блоками заданных размеров, а не резанием, для которого характерны наибольшие удельные затраты энергии с осуществлением случайных элементарных сколов и выходом большого объёма мелких классов угля в добываемом продукте [30].

При сколе развитие трещин всегда направлено туда, где имеет место наименьшее усилие, высокая сортность угля [31] сопровождается невысокой динамикой процесса и, следовательно, увеличенным сроком службы его исполнительного органа. Это позволит снизить интенсивность процесса пылеобразования.

Для повышения эффективности отработки [32] разнообразных по геометрическим и прочностным параметрам целиков в различных горно-геологических условиях целесообразно применять избирательную уступную циклическую технологию отделения угля от массива структурными блоками. Уступная технология допускает применение статического, динамического и статико-динамического способа отделения угля от массива и исполнительных органов режущего и скалывающего типа.

Таким образом, заявленный подход и учет основных факторов [33], характеризующих структуру и прочностные свойства массива, позволяют снизить минимальную энергоёмкость [34] отделения угля от массива, осуществляя ее структурными блоками в локальных забоях. При этом контроль качества процесса может быть осуществлен по критериям:

- производительность (интенсивность процесса);
- сортность отделяемого угля от массива (по геометрическим размерам);



**Рис. 1**  
Схема локального забоя:  
1 – угольный массива;  
2 – исполнительный орган УВМ;  
3 – перекрытие СМК;  
4 – зачистной скребковый конвейер

**Fig. 1**  
A schematic drawing of the local face:  
1 – coal mass;  
2 – effector of the unified excavation module;  
3 – coverage of the powered support unit;  
4 – loading drag bar conveyor

– интенсивность пылеобразования и удельные затраты энергии, характеризующие качество процесса отделения угля от массива.

Процесс отработки конкретного целика целесообразно разделить на отработку слагающих его локальных забоев. Понятие «локальный забой» используется для обозначения части общего забоя, например, очистного, параметры и технология работ на которой отличны от других, не изменяются или изменяются несущественно (мощность, структура и угол падения пласта), на которой возможно использование однотипных технологических процессов и технических средств, необходимых для реализации принятой избирательной технологии. В общем случае при осуществлении избирательной технологии с применением унифицированных выемочных модулей (УВМ) [35] при отработке локального забоя необходимо согласовывать значения параметров технологического процесса в локальных участках забоя со значениями используемых технических средств: геометрических параметров локальных забоев с параметрами секций механизированной крепи (СМК), при этом минимальная длина локального забоя равна шагу передвижки СМК; продвижение локального забоя за цикл добычи должно быть согласовано с шагом передвижки соответствующих СМК, установленных в забое, или шагу перемещения части или всего комплекса за цикл по условию крепления кровли в забое.

Рассмотрим забой с наиболее часто встречающимися благоприятными условиями для отработки угольных целиков: пласты средней мощности, с явно выраженным отжимом, угол залегания пластов от 0 до 35 град, относительно устойчивая кровля. Забой по длине отработки целика делится на локальные забои (рис. 1). Минимальная ширина локального забоя  $B_{лз}$  должна быть равной ширине секции крепи с учетом шага расстановки СМК  $a_{сек}$ . Отделение угля от массива при отработке целиков осуществляет унифицированный выемочный модуль.

На эффективность процессов отделения отделения [36] угля, угля от массива и на полноту его извлечения в каждом конкретном случае влияют и смежные процессы: способ управления горным давлением [37] на участке; структура и параметры используемых технологий и технических средств; степень отжима пласта; соотношения размеров исполнительных органов выемочных машин и обрабатываемых забоев и некоторые другие факторы. В качестве несущей базовой конструкции для формирования УВМ используется СМК. Шаг продвижения забоя принимается равным шагу передвижения секций крепи  $B_n$  по длине забоя (ширине целика). Фронтальное продвижение забойного конвейера и выравнивание линии забоя свидетельствует об окончании основных и вспомогательных операций обработки забоя в процессе отработки целика.

Шаг расстановки  $a_c$  и шаг передвижки СМК  $B_n$  зависят от устойчивости кровли. Чем устойчивее кровля, тем больше может быть расстояние между соседними СМК и на больший шаг может осуществляться выемка угля за цикл.

Площадь сечения отделяемого блока угля равна  $a^2$  при идеальных условиях, а его объем (с учетом глубины скола) равен  $a^3$ , где  $a$  – ширина, высота и глубина скола. При повышенной прочности массива, приняв  $a \leq 0,1-0,3$  м, вероятность выхода продукта с такими геометрическими параметрами будет наибольшей при осуществлении вруба двумя последовательными срезами/сколами, а именно при ширине вруба  $a_{вр} = 2a$ . Максимальная крупность куска (продукта) по параметру «а» ограничена по условию выхода негабарита и сложности его транспортирования, минимальная – требованиями к качеству продукта.

Проанализировав смежные процессы, протекающие в локальном забое, можно говорить о наличии взаимосвязи между ними, о влиянии их на параметры отделяемых элементов, на расход энергии и на образование классов отделяемых пород по гранулометрическому составу. Изучение этой связи позволит упорядочить и систематизи-

ровать параметры процессов, происходящих в локальном забое. Поэтому в качестве параметра, характеризующего взаимосвязь смежных процессов, может выступать параметр кратности «а», входящий в каждый из смежных процессов. Он отражает значимость и взаимосвязь прочностных, технологических и технических факторов со значениями технологических параметров, которые могут быть охарактеризованы: шагом передвижки и шагом установки СМК, соотношением технологических, геометрических, прочностных параметров и кратности отделяемых кусков по параметру «а».

Таким образом, рассмотрен первоначальный подход к взаимной зависимости структур в процессе отработки угольных целиков.

### **Заключение**

В заключение следует подытожить следующие положения.

Учет разнообразия горно-геологических условий месторождений и прочностных свойств угольных целиков

определяет необходимость систематизации условий и требований к применению технологий и технических средств отработки последних.

При этом целесообразно осуществлять отработку целиков, разбивая их на локальные забои, в каждом из которых осуществляются все основные и вспомогательные операции извлечения полезного ископаемого целиков.

В то же время наличие фазы скола в процессе отделения структурных блоков угля от забоя в процессе отработки целиков является шагом к управляемости процессом отделения угля от массива целика при его отработке.

Параметр кратности «а» характеризует взаимосвязь смежных процессов в локальном забое с параметрами унифицированного выемочного модуля и его исполнительного органа с размерами отделяемых структурных блоков.

### **Вклад авторов**

Ж.М. Гаращенко – выполнение работы по систематизации материала, написание текста статьи.

В.А. Теремецкая – получение данных для анализа, анализ результатов исследования и подготовка данных.

В.В. Габов – генерация идеи исследования, постановка цели и задач исследований, редактирование текста статьи.

### **Authors contribution**

Garashchenko Zh.M.: systematization of the material, drafting the article.

Teremetskaya V.A.: obtaining data for analysis, analyzing research results and preparing data.

Gabov V.V.: generating the research concept, setting the purpose and objectives of the research, editing the article.

### **Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### **Conflict of interests**

The authors declare no relevant conflict of interests.

### **Список литературы / References**

1. Корогодин А.С., Иванов С.Л. Техническое обслуживание и ремонт цапф барабанной мельницы плавучего комплекса горного оборудования. *Устойчивое развитие горных территорий*. 2023;15(3):760–770. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2023-15-3-760-770>  
Korogodin A.S., Ivanov S.L. Maintenance and repair of drum mill trunnions of a floating mining equipment complex. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2023;15(3):760–770. (In Russ.) <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2023-15-3-760-770>
2. Юнгмейстер Д.А., Смоленский М.П., Сержан С.Л., Уразбахтин Р.Ю. Параметры шагающего устройства для добычи полезных ископаемых, рассредоточенных по морскому дну. *Устойчивое развитие горных территорий*. 2024;16(2):487–502. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2024-16-2-487-502>  
Yungmeister D.A., Smolenskii M.P., Serzhan S.L., Urazbakhtin R.Y. Parameters of a stepping device for mining of scattered minerals on the sea bed. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2024;16(2):487–502. (In Russ.). <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2024-16-2-487-502>
3. Клишин В.И., Рогова Т.Б., Шаклеин С.В., Писаренко М.В. Стратегические задачи технологического развития угольной отрасли. *Уголь*. 2023;(3):52–59. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2023-3-52-59>  
Klishin V.I., Rogova T.B., Shaklein S.V., Pisarenko M.V. Strategic objectives for technological development of the coal industry. *Ugol*. 2023;(3):52–59. (In Russ.) <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2023-3-52-59>



4. Алимджанова Д.И., Абдусатторов Ш.М., Муйдинова Н.К.К., Абдуганиев Ш.Х.У. Водугольное топливо на основе бурого угля Ангреноского месторождения. *Universum: технические науки*. 2021;(3-2):68–72. Режим доступа: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/11443> (дата обращения: 07.08.2024).  
Alimdjanovala J., Abdusattorov Sh., Muydinova N., Abduganiev Sh. Water-coal fuel based on brown coal of the angren locality. *Universum: Technical Sciences*. 2021;(3-2):68–72. (In Russ.) Available at: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/11443> (accessed: 07.08.2024).
5. Плакиткина Л.С., Плакиткин Ю.А., Дьяченко К.И. Мировые тенденции развития угольной отрасли. *Горная промышленность*. 2019;(1):24–29.  
Plakitkina L.S., Plakitkin Yu.A., Dyachenko K.I. World trends of coal industry development. *Russian Mining Industry*. 2019;(1):24–29. (In Russ.)
6. Han S., Chen H., Long R., Cui X. Peak coal in China: A literature review. *Resources, Conservation and Recycling*. 2018;129:293–306. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2016.08.012>
7. Kazanin O., Sidorenko A., Drebenstedt C. Intensive underground mining technologies: Challenges and prospects for the coal mines in Russia. *Acta Montanistica Slovaca*. 2021;26(1):60–69. <https://doi.org/10.46544/AMS.v26i1.05>
8. Зубов В.П., Фук Л.К. Разработка ресурсосберегающей технологии выемки пологих угольных пластов с труднообрушающимися породами кровли (на примере шахт Куангниньского угольного бассейна). *Записки Горного института*. 2022;257:795–806. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.72>  
Zubov V.P., Phuc L.Q. Development of resource-saving technology for excavation of flat-lying coal seams with tight roof rocks (on the example of the Quang Ninh coal basin mines). *Journal of Mining Institute*. 2022;257:795–806. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.72>
9. Рыжков Ю.А., Игнатов Е.В. Сравнительная оценка горно-геологических условий разработки, техники и технологии при подземном способе добычи угля в России и за рубежом. *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. 2006;(1):67–74. Режим доступа: <https://vestnik.kuzstu.ru/index.php?page=article&id=1137> (дата обращения: 07.08.2024).  
Ryzhkov Yu.A., Ignatov E.V. Comparative assessment of mining and geological conditions, equipment and technology for underground coal mining in Russia and abroad. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2006;(1):67–74. (In Russ.) Available at: <https://vestnik.kuzstu.ru/index.php?page=article&id=1137> (accessed: 07.08.2024).
10. Кизияров О.Л., Болотов А.П., Смагина И.А. Оценка уровня потерь угля в охранных целиках при технологической схеме выемки с разворотом комплексно-механизированного очистного забоя. *Инновационные научные исследования*. 2020;(12-1):80–91. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4444609>  
Kiziyarov O.L., Bolotov A.P., Smagina I.A. Estimation of the level of coal losses in security purposes in the technological scheme of excavation with rotation of the complex-mechanized treatment. *Innovative Scientific Research*. 2020;(12-1):80–91. (In Russ.) <https://doi.org/10.5281/zenodo.4444609>
11. Валиев Н.Г., Беркович В.Х., Пропп В.Д., Кокарев К.В. Проблемы отработки предохранительных целиков при эксплуатации рудных месторождений. Известия высших учебных заведений. *Горный журнал*. 2018;(2):4–9. <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2018-2-4-9>  
Valiev N.G., Berkovich V.Kh., Propp V.D., Kokarev K.V. The problems of developing protection pillars under the exploitation of ore deposits. *Izvestiya vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Gornyi Zhurnal*. 2018;(2):4–9. (In Russ.) <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2018-2-4-9>
12. Анферов Б.А., Кузнецова Л.В. Перспективы селективной добычи и переработки энергетических углей, содержащих платину. *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. 2013;(3):41–45. Режим доступа: <https://vestnik.kuzstu.ru/index.php?page=article&id=346> (дата обращения: 07.08.2024).  
Anfyorov B.A., Kuznetsova L.V. Prospects for the selective extraction and processing of thermal coal, platinum-containing. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2013;(3):41–45. (In Russ.) Available at: <https://vestnik.kuzstu.ru/index.php?page=article&id=346> (accessed: 07.08.2024).
13. Nikiforov A.V., Vinogradov E.A., Kochneva A.A. Analysis of multiple seam stability. *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 2019;10(2):1132–1139.
14. Szurgacz D., Brodny J. Adapting the powered roof support to diverse mining and geological conditions. *Energies*. 2020;13(2):405. <https://doi.org/10.3390/en13020405>
15. Габов В.В., Гаращенко Ж. М. Обоснование структуры механизированного комплекса для отработки целиков угольных шахт. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2023;(11-1):38–50. [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2023\\_111\\_0\\_38](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_111_0_38)  
Gabov V. V., Garashchenko Zh. M. Defining the structure of a mechanised complex for extracting coal pillars. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2023;(11-1):38–50. (In Russ.) [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2023\\_111\\_0\\_38](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_111_0_38)
16. Cao S., Xue G., Yilmaz E., Yin Z., Yang F. Utilizing concrete pillars as an environmental mining practice in underground mines. *Journal of Cleaner Production*. 2021;278:123433. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123433>
17. Исламов С.Р. Будущее угля: в поисках новой парадигмы. *Уголь*. 2018;(9):26–32. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2018-9-26-32>  
Islamov S.R. Future of coal: searching for new paradigm. *Ugol'*. 2018;(9):26–32. (In Russ.) <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2018-9-26-32>

18. Wu W.-D., Bai J.-B., Wang X.-Y., Yan S., Wu S.-X. Numerical study of failure mechanisms and control techniques for a gob-side yield pillar in the Sijiazhuang Coal Mine, China. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2019;52(4):1231–1245. <https://doi.org/10.1007/s00603-018-1654-3>
19. Исмаилов А.С., Ризакулов М.С., Баратов В.Н., Бурунов Я.А. Применение современного механизированного комплекса на подземных угольных шахтах Узбекистана. *Проблемы науки*. 2021;(6):9–13.  
Ismailov A.S., Rizakulov M.S., Baratov V.N., Buronov Ya.A. Application of modern mechanized complexes in underground coal mines of Uzbekistan. *Problemy Nauki*. 2021;(6):9–13. (In Russ.)
20. Мякотных А.А., Иванова П.В., Иванов С.Л. К вопросу классификации комплексов добычи торфяного сырья. *Горная промышленность*. 2023;(6):137–142. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-6-137-142>  
Myakotnykh A.A., Ivanova P.V., Ivanov S.L. On classification of peat extraction complexes. *Russian Mining Industry*. 2023;(6):137–142. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-6-137-142>
21. Klevtsov V.A., Timofeev D.Yu., Khalimonenko A.D. Improved design of manufacturing processes for mining machines: basing concepts. *Russian Engineering Research*. 2023;43(11):1367–1375. <https://doi.org/10.3103/S1068798X23110151>
22. Шешукова Е.И., Шибанов Д.А., Иванов С.Л., Недашковская Е.С. Оценка нагрузок приводов рабочего оборудования карьерного экскаватора (часть 1). *Горная промышленность*. 2024;(3):143–148. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-143-148>  
Sheshukova E.I., Shibanov D.A., Ivanov S.L., Nedashkovskaya E.S. Assessment of loads acting on the working attachment of a mine shovel (Part 1). *Russian Mining Industry*. 2024;(3):143–148. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-143-148>
23. Мешков А.А., Казанин О.И., Сидоренко А.А. Реализация производственного потенциала высокопроизводительного оборудования – ключевое направление совершенствования подземной добычи энергетических углей. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2020;(12):156–165. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-12-0-156-165>  
Meshkov A.A., Kazanin O.I., Sidorenko A.A. Implementation of production potential of high-performance equipment – A key trend of improvement in underground mining of power-generating coal. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2020;(12):156–165. (In Russ.) <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-12-0-156-165>
24. Шабаев О.Е., Нечепаяев В.Г., Степаненко Е.Ю., Зинченко П.П. Влияние ширины захвата очистных комбайнов для тонких пластов на сортовой состав отделенной горной массы. *Горное оборудование и электромеханика*. 2022;(6):40–47. <https://doi.org/10.26730/1816-4528-2022-6-40-47>  
Shabaev O.E., Nechepayev V.G., Stepanenko E.Yu., Zinchenko P.P. Influence of the web width of the shearer for thin coal seams on the granulometric composition of the separated rom coal. *Mining Equipment and Electromechanics*. 2022;(6):40–47. (In Russ.) <https://doi.org/10.26730/1816-4528-2022-6-40-47>
25. Субботин Ю.В., Овешников Ю.М., Самойленко А.Г., Циношкин Г.М. Управление качеством бурых углей Харанорского месторождения. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2012;(4):64–72.  
Subbotin Yu.V., Oveshnikov Yu.M., Samoilenko A.G., Tsinoshkin G.M. Management of brown coal quality at Kharanorskoye deposit. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2012;(4):64–72. (In Russ.)
26. Качурин Н.М., Стась Г.В., Есина Е.Н. Геомеханическое обеспечение комбинированной геотехнологии на завершающей стадии освоения угольных месторождений. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2021;(3):277–285.  
Kachurin N.M., Stas G.V., Esina E.N. Geomechanical support of combined geotechnology at the final stage of the coal deposits development. *Izvestiya Tulsikogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*. 2021;(3):277–285. (In Russ.)
27. Герике П.Б., Герике Б.Л. Поиск инструмента для механического разрушения прочных породных массивов. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2012;(S2):241–265.  
Gerike P.B., Gerike B.L. Tool search for mechanical destruction of strong pedigree arrays. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2012;(S2):241–265. (In Russ.)
28. Теплякова А.В., Азимов А.М., Алиева Л., Жуков И.А. Обзор и анализ технических решений для повышения долговечности и улучшения технологичности элементов ударных узлов бурильных машин. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2022;(9):120–132. [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2022\\_9\\_0\\_120](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_9_0_120)  
Teplyakova A.V., Azimov A.M., Alieva L., Zhukov I.A. Improvement of manufacturability and endurance of percussion drill assemblies: review and analysis of engineering solutions. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2022;(9):120–132. (In Russ.) [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2022\\_9\\_0\\_120](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_9_0_120)
29. Zhukov I.A., Martyushev N.V., Zyukin D.A., Azimov A.M., Karlina A.I. Modification of hydraulic hammers used in repair of metallurgical units. *Metallurgist*. 2023;66(11-12):1644–1652. <https://doi.org/10.1007/s11015-023-01480-w>
30. Суханов А.Е., Шишлянников Д.И., Исаевич А.Г. Использование перекрестной схемы резания для снижения пылевидных и небогатимых фракции при механизированной добыче калийной руды. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2023;334(2):60–69. <https://doi.org/10.18799/24131830/2023/2/3767>  
Sukhanov A.E., Shishlyannikov D.I., Isaevich A.G. Application of a cross-cutting pattern for cutting rock mass to reduce dust emission during mechanized mining of potash ore. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2023;334(2):60–69. (In Russ.) <https://doi.org/10.18799/24131830/2023/2/3767>

31. Hower J.C., Finkelman R.B., Eble C.F., Arnold B.J. Understanding coal quality and the critical importance of comprehensive coal analyses. *International Journal of Coal Geology*. 2022;263:104120. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2022.104120>
32. Лысенко М.В., Аушев Е.В., Дудин А.А. Способы повышения полноты извлечения запасов угля. *Уголь*. 2022;(11):48–54. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2022-11-48-54>  
Lysenko M.V., Aushev E.V., Dudin A.A. Ways to increase the recovery ratio of coal reserves. *Ugol'*. 2022;(11):48–54. (In Russ.) <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2022-11-48-54>
33. Бельш Т.А., Немова Н.А. Факторы, влияющие на оценку горного массива при моделировании Эльгинского месторождения каменного угля. В кн.: *Проблемы горного дела: сб. науч. тр. 1-го междунар. форума студентов, аспирантов и молодых ученых-горняков, г. Донецк, 8–10 апр. 2020 г.* Донецк: Донецкий национальный технический университет; 2020. С. 82–88.
34. Базарова Е.В., Палейчук Н.Н. Исследование напряженно-деформированного состояния призабойной части трещиноватого угольного пласта. В кн.: *Инновационные перспективы Донбасса: материалы 7-й Междунар. науч.-практ. конф., г. Донецк, 24–26 мая 2021 г.* Донецк: Донецкий национальный технический университет; 2021. Т. 1. С. 42–46.
35. Габов В.В., Кустриков Э.В., Задков Д.А. Особенности метода выбора параметров исполнительного органа унифицированного модуля. *Современные проблемы науки и образования*. 2015;(1-2):94. Режим доступа: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=19960> (дата обращения: 07.08.2024).  
Gabov V.V., Kustrikov E.V., Zadkov D.A. Mining unified excavation module executive body parameters selection. *Modern Problems of Science and Education*. 2015;(1-2):94. (In Russ.) Available at: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=19960> (accessed: 07.08.2024).
36. Shishlyannikov D. I, Zvonarev I. A. *Investigation of the Destruction Process of Potash Ore with a Single Cutter Using Promising Cross Cutting Pattern// Applied Sciences*. 2021; 11 (1):464. DOI: <https://doi.org/10.3390/app11010464>
37. Ma Jq., Li Xh., Yao Ql., Xia Z., Xu Q., Shan Ch., Sidorenko A., Aparin A. Numerical simulation on mechanisms of dense drilling for weakening roofs and its application in roof control. *Journal of Central South University*. 2023; 30:1865–1886 <https://doi.org/10.1007/s11771-023-5345-1>

#### Информация об авторах

**Гаращенко Жанна Максимовна** – аспирант кафедры машиностроения, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0001-5257-7096>; e-mail: [s215047@stud.spmi.ru](mailto:s215047@stud.spmi.ru)

**Теремецкая Василиса Александровна** – инженер 1-й категории, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-5334-9623>; e-mail: [teremetskaya\\_va@pers.spmi.ru](mailto:teremetskaya_va@pers.spmi.ru)

**Габов Виктор Васильевич** – доктор технических наук, профессор кафедры машиностроения, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-6587-2446>; e-mail: [gvv40@mail.ru](mailto:gvv40@mail.ru)

#### Information about the authors

**Zhanna M. Garashchenko** – Postgraduate Student, Department of Mechanical Engineering, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0001-5257-7096>; e-mail: [s215047@stud.spmi.ru](mailto:s215047@stud.spmi.ru)

**Vasilisa A. Teremetskaya** – First Category Engineer, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-5334-9623>; e-mail: [teremetskaya\\_va@pers.spmi.ru](mailto:teremetskaya_va@pers.spmi.ru)

**Viktor V. Gabov** – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Department of Mechanical Engineering, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-6587-2446>; e-mail: [gvv40@mail.ru](mailto:gvv40@mail.ru)

#### Article info

Received: 24.08.2024

Revised: 02.10.2024

Accepted: 09.10.2024

#### Информация о статье

Поступила в редакцию: 24.08.2024

Поступила после рецензирования: 02.10.2024

Принята к публикации: 09.10.2024