

ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРЫ МЕХАНИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОТРАБОТКИ ЦЕЛИКОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

В.В. Габов¹, Ж.М. Гаращенко¹

¹ Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
Санкт-Петербург, Россия, e-mail: s215047@stud.spmi.ru

Аннотация: Вследствие использования существующих в настоящее время технологий подземных разработок угольных месторождений в пределах шахтных полей формируются в зависимости от горно-геологических и технологических условий целики различных форм и размеров. Отработка таких целиков имеющимися техническими средствами – мощными дорогостоящими комплексами, предназначенными для применения в длинных очистных забоях, технически и экономически нецелесообразна. Невозможно и создание специальных технологий и технических средств для каждой из технологий добычи угля в отдельности. Чрезмерное накопление неизвлекаемых запасов в целиках делает актуальной проблему разработки унифицированных специальных технологий и технических средств для последующей отработки целиков, пригодных для извлечения угля и безопасных. Проведен анализ используемых технологий и технических средств отработки целиков, сформулированы требования к унифицированным технологиям и техническим средствам и предложена технология на основе согласования скоростей подвигания основного забоя (лавы) и забоя целика, их отработки соответствующими выемочными механизированными комплексами. Основываясь на предложенной технологии, авторами представлен один из возможных вариантов структуры унифицированного механизированного модульного комплекса для отработки целиков.

Ключевые слова: уголь, шахтное поле, выемочный участок, целик, технология выемки, технические средства, структура, выемочный модуль.

Для цитирования: Габов В. В., Гаращенко Ж. М. Обоснование структуры механизированного комплекса для отработки целиков угольных шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 11-1. – С. 38–50. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_111_0_38.

Defining the structure of a mechanised complex for extracting coal pillars

V.V. Gabov¹, Zh.M. Garashchenko¹

¹ Empress Catherine II Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russia,
s215047@stud.spmi.ru

Abstract: Under the currently used technologies of underground mining of coal resources within the mine fields, depending on mining, geological and technological conditions, pillars of various shapes and sizes can be formed. It is not technically and economically advisable to excavate such pillars with currently available technologies and technical facilities, powerful

expensive complexes designed for use in longwall mines. It is also impracticable to create specific technologies and specialized technical means for each individual technology among their multitude. Excessive accumulation of unrecoverable reserves in pillars actualises the problem of development of unified special technologies and technical facilities for further pillar mining suitable and safe for extraction. The authors have analysed the existing technologies and technical facilities for pillar extraction, formed the requirements to unified technologies and technical facilities and proposed, based on coordination of the main face (longwall face) and pillar movement speeds, the technology of their extraction by the corresponding mining mechanised complexes. Based on the proposed technology, the authors presented one of the potential variants of the structure of a unified mechanised module complex for pillar excavation.

Key words: coal, mine field, excavation area, pillar, structure of mechanised complex, extraction technology, technical facilities, excavation modules.

For citation: Gabov V. V., Garashchenko Zh. M. Defining the structure of a mechanised complex for extracting coal pillars. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023;(11-1):38-50. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_111_0_38.

Введение

Современным технологиям подземной добычи угля [1] свойственны устойчивые тенденции повышения концентрации и интенсификации горных работ [2–4], укрупнения участков, нарезаемых к выемке, образование в пределах шахтных полей целиков различного назначения [5], размеров и форм. Целики формируются с разными целями: для длительного поддержания в исправном состоянии основных и подготовительных выработок, ограждения зон горно-геологических нарушений, водоносных горизонтов, формирования охранных зон для наземных зданий, технологических объектов и других сооружений [6]. Объем запасов угля в целиках, по оценкам ряда исследователей [7] и организаций, может составлять до 30% от балансовых запасов шахт, что обуславливает актуальность и необходимость их отработки [8]. К тому же горные выработки, необходимые при отработке целиков, как правило, уже проведены при производстве нарезных работ [9–11], а действующие системы вентиляции, водоотлива, транспорта, энергоснабжения могут использо-

ваться без ограничений и при отработке целиков [12, 13].

В настоящее время уделяется недостаточное внимание развитию технологии и техники выемки угля из разнообразных по форме и размерам целиков [14] одновременно с отработкой основных запасов [15]: не разрабатываются унифицированные технологии и технические средства для отработки целиков.

Проблема заключается в том, что нет и не может быть единой универсальной технологии и унифицированных технических средств для отработки всего множества разнообразных по форме и размерам целиков в разнообразных горно-геологических условиях. Но при системном подходе всегда можно выделить группу целиков по значениям их параметров и условиям залегания для решения частных проблем.

Требования к технологии и техническим средствам

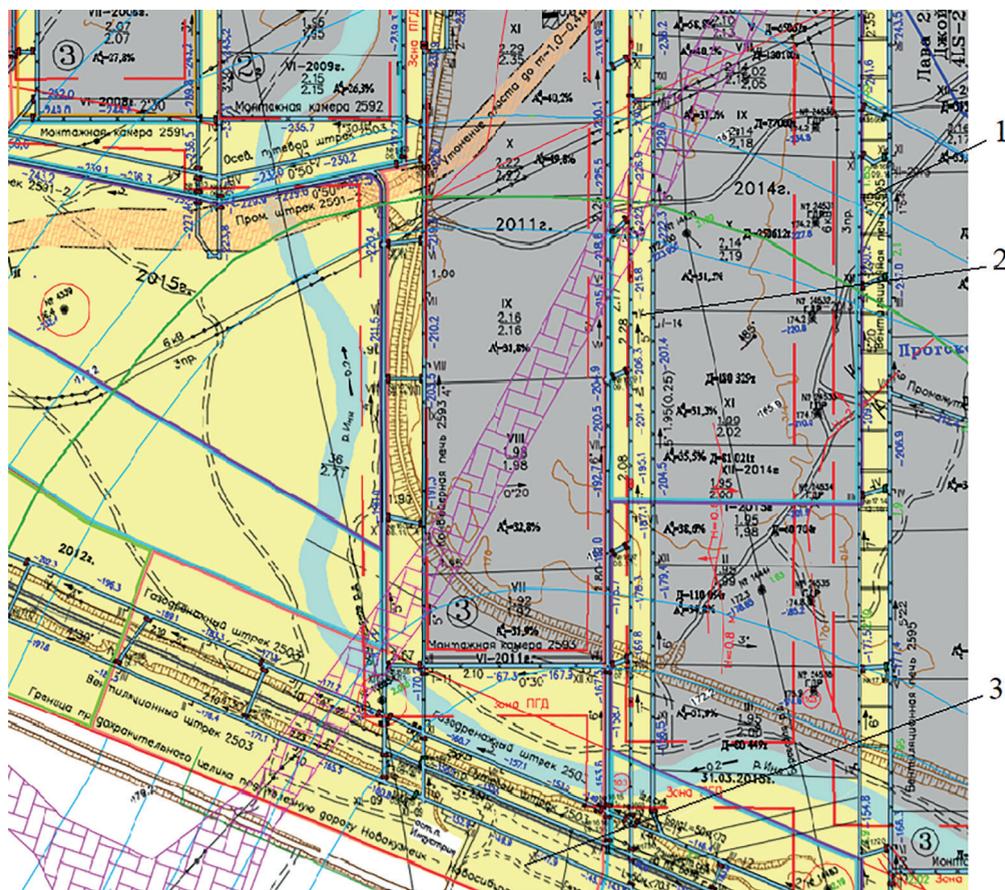
Разработка унифицированных технологий и технических средств отработки целиков обеспечит повышение эффективности и согласованности отработки

одновременно с выемкой основных запасов целиков, разнообразных по форме, размерам и прочностным параметрам [16], и будет способствовать уменьшению объемов неизвлекаемых запасов.

Рассмотрим требования к технологиям [17] и техническим средствам обработки целиков на примере условий пласта «Поленовский» шахты имени С.М. Кирова АО «СУЭК-Кузбасс» [18] (рис. 1). Разработка запасов в пределах шахтного поля ведется погоризонтным способом. Так как уголь разрабатываемого пласта склонен к самовозгоранию [19], предусмотрена центрально-фланго-

вая схема проветривания [20] с формированием охранных целиков [21] шириной не менее 40 м. Такие участки, как правило, не обрабатывают, их запасы относят к потерям [22], но они могут содержать до нескольких млн тонн угля.

Требования к технологиям [23] и техническим средствам обработки целиков зависят от технологических условий и вариативности расположения участков [24] в пределах полей действующих шахт, от горно-геологических условий их залегания, разнообразия геометрических форм и размеров участков, от прочностных свойств угля и вмещающих пород.



1 – охранные целики вдоль основных выработок; 2 – сдвоенный межпластовый целик; 3 – предохранительный целик

Рис. 1. Положение целиков на плане горных работ

Fig. 1. Location of the pillars on the mine plan

К основным требованиям к технологиям отработки целиков следует отнести:

- согласованность технологий отработки целиков и основных запасов;
- возможность совместного использования при отработке целиков общешахтных систем транспорта, вентиляции, водоотлива, противопожарного става и другого оборудования без их изменений и существенно значимых дополнительных затрат;
- технология отработки целика не должна приводить к остановке основного процесса добычи в длинных очистных забоях (лавах);
- обеспечение безопасности горных работ.

К основным требованиям к техническим средствам для отработки целиков следует отнести:

- их мобильность при перемещении, при монтаже и демонтаже [25];
- адаптивность к условиям эксплуатации [26];
- унифицированность конструкций машин и оборудования;
- совместимость при использовании с другим оборудованием шахты;
- модульность исполнения.

Требования к секции механизированной крепи (СМК) [27], принятой в качестве базовой конструкции при компоновке унифицированного выемочного модуля (УВМ) комплекса для отработки целиков:

- эффективное поддержание кровли и управление горным давлением;
- предотвращение несанкционированных смещений унифицированных выемочных модулей при их работе на наклонных участках;
- приспособленность к циклическим перемещениям выемочного комплекса к забою;
- обеспечение безопасности при ведении горных работ.

Требования к средствам транспорта:

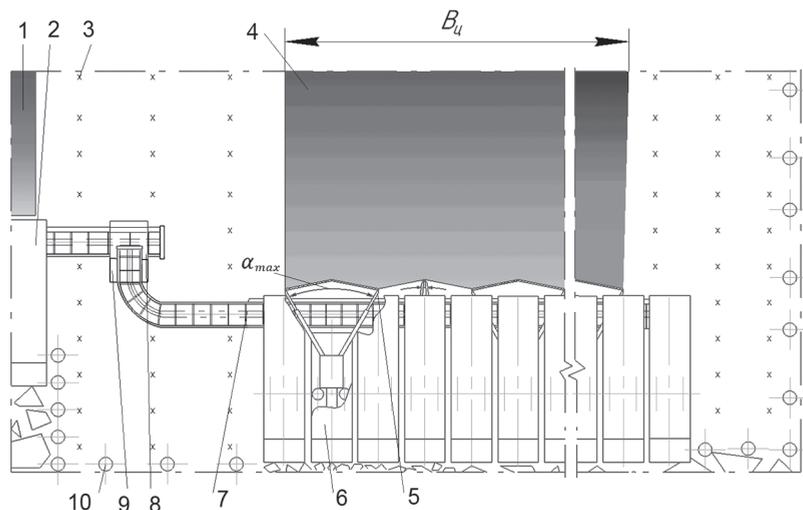
- возможность работы на криволинейных участках [28] с погрузкой транспортируемой массы в разные виды емкостей транспортирующих средств;
- адаптивность к изменениям геометрических параметров целиков по мере их отработки;
- сохранение устойчивости положения УВМ при максимальных допустимых внешних нагрузках;
- осуществление зачистки почвы при фронтальном перемещении конвейера комплекса к забою.

Структура механизированного комплекса

С учетом сформулированных требований технические средства для отработки целиков приобретают особенности типовых очистных механизированных комплексов [29]: содержат в качестве основного оборудования комплект устройств типового выемочного комплекса — забойный скребковый конвейер, комплект секций механизированной крепи (рис. 2) и унифицированные выемочные модули с необходимыми кинематическими связями основного и вспомогательного оборудования [30]; устойчивую последовательность выполнения операций цикла.

При этом в качестве выемочных устройств [31] принимаются унифицированные выемочные модули секционного типа с исполнительными органами статико-динамического действия, а в качестве базовой несущей конструкции для компоновки УВМ — щитовая секция механизированной крепи [32].

Для обеспечения безопасности работ [33] в процессе отработки целиков на наклонных участках следует предусмотреть установку стопорных устройств, предотвращающих выемочные модули от несанкционированных их смещений



1 – основной массив; 2 – концевая секция крепи механизированного очистного комплекса; 3 – положение анкера крепи; 4 – целик; 5 – исполнительный орган УВМ; 6 – секция крепи с направляющей балкой; 7 – забойный скребковый конвейер ОМК ОЦ; 8 – секция перегрузочная конвейера ОМК ОЦ; 9 – приводная станция конвейера ОМК ОЦ; 10 – стойки крепи выработок;
 α_{max} – угол раскрытия исполнительного органа (максимальный) УВМ; B_u – ширина целика

Рис. 2. Очистной механизированный комплекс отработки целиков (ОМК ОЦ) по восстанию
 Fig. 2. Mechanized complex of mining pillars by upwards (MC MP)

при максимальных нагрузках. В проблемных участках выработок, формирующих целик, целесообразна установка дополнительных технических средств крепления кровли, в частности, анкерной крепи. Для транспортирования разрушенной массы необходимо использовать скребковый забойный конвейер [34] с возможностью циклической фронтальной передвижки его на забой и перегрузки транспортируемой массы как на непрерывный, так и на циклический транспорт. Технологии отработки целиков и основных участков должны быть согласованы. При этом целесообразно, чтобы технически возможная скорость фронтального перемещения очистного механизированного комплекса отработки целиков была не меньше максимальной скорости фронтального перемещения основного забоя (отработка целика не должна приводить к остановке основного забоя).

Поэтому в зависимости от особенностей технологии ведения очистных работ возможны три предпочтительные схемы отработки целиков: с опережением отработки основных запасов; с отставанием от выемки основных запасов; одновременно с отработкой основных запасов. Степень опережения или отставания забоя должна быть обоснована с учетом состояния оконтуривающих целик выработок, заданной интенсивности и безопасности ведения горных работ.

Результаты

Структура и параметры технических средств комплекса для отработки целиков должны быть скорректированы с учетом установленного для конкретных горно-геологических и технологических условий регламентированного технологического приоритета: скорости подвигания основного очистного забоя [35],

скорости обработки целика или установленной производительности УВМ.

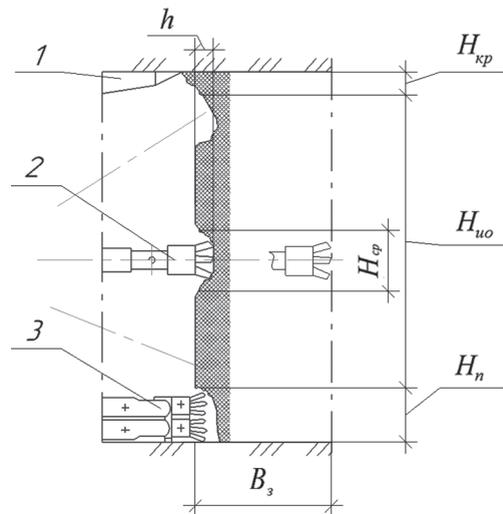
Предлагаемая методика учитывает необходимость согласования интенсивностей процессов обработки целиков и основных запасов, рекомендуется к использованию при обосновании структуры унифицированного механизированного комплекса для обработки целиков и при определении значений параметров его основного оборудования: выемочных модулей, секций механизированной крепи и зачистного забойного скребкового конвейера. При слабом и однородном по структуре угольном пласте следует применять режущую коронку УВМ, при наличии прослоев породы или твердых локальных включений — коронку статико-динамического действия, или предусмотреть проведение мероприятий по ослаблению прочностных свойств массива, например, проведением подрезной щели у почвы пласта (рис. 3), нагнетанием воды в пласт по специальным скважинам.

Рассмотрим последовательные операции обработки забоя за цикл уравновешенными исполнительными органами УВМ (рис. 3, 4) от исходного положения. Операции цикла включают: скалывание козырьком СМК пачки угля у непосредственной кровли, осуществление срезов/сколов угля, срез слоя у почвы пласта, перемещение забойного оборудования, СМК на шаг продвижения забоя, позиционирование исполнительного органа в исходное положение, в транспортное положение и осуществление дополнительного крепления кровли.

За исходное принимается положение, при котором СМК и забойный конвейер придвинуты к забою, обеспечивая минимальную ширину призабойного пространства, исполнительный орган УВМ позиционируется по мощности пласта и толщине среза. За цикл принимается последовательность всех операций, не-

обходимых для обработки забоя по мощности пласта (H_p) и на шаг передвижки крепи (B_3). Рекомендуемый фронтальный способ отделения угля от массива с одновременной обработкой столба параллельными заходками (i_n) реализуется следующим образом: режущая цепь скребкового конвейера подрезает массив (рис. 4) на высоту H_n , козырек секции механизированной крепи при выдвигании скалывает слой массива высотой $H_{кр}$ у кровли. Оставшаяся часть массива — H_{uo} по мощности пласта обрабатывается параллельными срезами исполнительными органами УВМ, которые разрушают массив локальными забоями одновременно по всей длине очистного забоя в направлении подвигания фронта лавы. Для обеспечения избирательности обработки забоя ширину среза по мощности пласта исполнительным органом рекомендуется принимать как $1/5$.

Таким образом, длительность снятия одной стружки (T_c находится по формуле (1):



- 1 – скалыватель козырька СМК;
- 2 – коронка исполнительного органа УВМ;
- 3 – забойный скребковый конвейер с режущей-транспортирующей цепью

Рис. 3. Схема обработки забоя

Fig. 3. Face cleaning treatment scheme

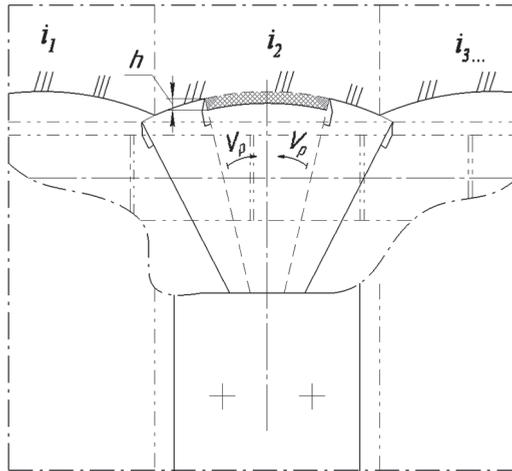


Рис. 4. Схема обработки забоя

Fig. 4. Face cleaning treatment scheme

$$T_c = t_{n.H} + t_{n.h} + t_{x.x} + t_{cp}, \quad (1)$$

где $t_{n.H}$ — длительность позиционирования исполнительного органа УВМ в исходном положении по мощности пласта; $t_{n.h}$ — длительность позиционирования исполнительных органов по толщине среза; $t_{x.x}$ — длительность холостого хода исполнительных органов; t_{cp} — длительность одного среза.

Длительность отработки забоя по всей мощности пласта на глубину h определится по формуле (2):

$$T_h = T_c \cdot \frac{H_{uo}}{H_{cp}}, \quad (2)$$

где H_{cp} — средняя ширина среза; H_{uo} — мощность пласта, обрабатываемого исполнительными органами УВМ.

Цикл операций считается законченным в момент осуществления очередной передвижки СМК комплекса. Следовательно, время цикла, необходимое для обработки забоя на шаг передвижки СМК, определяется по формуле (3):

$$T_u = (t_{n.H} + t_{n.h} + t_{x.x} + t_{cp}) \cdot \frac{(H_2 - H_n - H_{kp}) \cdot B_3}{H_{cp}} + t_{n.k}, \quad (3)$$

где $t_{n.k}$ — длительность передвижки секций ОМК ОЦ; B_3 — шаг передвижки СМК; h — толщина срезаемой стружки;

Выбирая структуру и параметры комплекса для отработки целика, необходимо учитывать возможность изменения геометрических параметров целиков по мере их отработки.

Таким образом, техническая производительность УВМ будет равна отношению веса добытого угля за цикл к длительности цикла (4):

$$Q_{\text{тех}} = G_{\text{ц}} / T_{\text{ц}} = \frac{H_2 \cdot B_3 \cdot B_{\text{ц}} \cdot \gamma}{(t_{n.H} + t_{n.h} + t_{x.x} + t_{cp}) \cdot \frac{(H_2 - H_n - H_{kp}) \cdot B_3}{H_{cp}} + t_{n.k}} \quad (4)$$

где $G_{\text{ц}}$ — вес добытого угля за цикл; γ — плотность угля в целике, т/м³; H_2 — мощность пласта, м; $B_{\text{ц}}$ — длина фронта обрабатываемого целика, м.

С учетом перерывов в работе за цикл операций производительность комплекса будет равна (5):

$$Q_k = \frac{G_{\text{ц}}}{T_{\text{ц}}} \cdot \frac{B_{\text{ц}}}{B_3} K_M, \quad (5)$$

где K_M — коэффициент использования комплекса во времени.

Выводы

Технология отработки целиков должна включать операции разрушения массива, поддержание кровли и управление горным давлением, погрузку и транспортирование разрушенной массы, зачистку и перемещение оборудования комплекса к забою.

Технические средства отработки целиков должны включать все структурные элементы, выполняющие операции технологического процесса: выемочные модули; погрузочно-транспортирующие устройства и секции механизированной крепи.

Оборудование очистного комплекса для отработки целиков должно быть унифицированным, модульного исполнения и совместимым с используемым оборудованием на горном предприятии.

Учитывая изменения структуры пласта, технология отработки целиков должна быть избирательной, а принятые устройства — адаптивными к изменению параметров забоя целиков в заданном диапазоне.

Заключение

Уменьшение объемов неизвлекаемых запасов угля в целиках шахты при под-

земной его добыче может быть достигнуто только в результате комплексного технологического решения, включающего:

- согласованность технологий отработки целиков и основных запасов;
- согласованность структуры комплекса, включающего забойный скребковый конвейер, комплект секции механизированной крепи, унифицированные выемочные модули секционного типа, со структурой технологического процесса отработки целиков различных форм и размеров в пределах шахтного поля;
- соответствие структуры и параметров унифицированного выемочного модуля секционного типа структуре прочностных свойств массива и принятой технологии отработки целиков.

Структура выемочного комплекса и технология его работы рассматриваются на стадии формирования нового типа комплексов, предназначенных для отработки ранее сформированных угольных целиков. Исследования по формированию структуры и параметров механизированного комплекса для отработки целиков не закончены, продолжают, и поэтому неизбежны дополнения и уточнения к изложенной информации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Kazanin O., Sidorenko A., Drebensted C.* Intensive underground mining technologies: Challenges and prospects for the coal mines in Russia // *Acta Montanistica Slovaca*. 2021, vol. 26, no. 1, pp. 60–69. DOI: 10.46544/AMS.v26i1.05.

2. *Шевелева О. Б., Слесаренко Е. В.* Устойчивое развитие угледобывающего региона: технико-технологический и экологический аспекты // *Актуальные проблемы экономики и права*. — 2019. — Т. 13. — № 4. — С. 1537–1548. DOI: 10.21202/1993-047X.13.2019.4.1537-1548.

3. *Плакилкина Л. С., Плакилкин Ю. А., Дьяченко К. И.* Мировые тенденции развития угольной отрасли // *Горная промышленность*. — 2019. — Т. 143. — № 1. — С. 24–29. DOI: 10.30686/1609-9192-2019-1-143-24-29.

4. *Hirschi J. C.* The role of research in the coal-mining industry: Moving forward using lessons from the past // *Advances in Productive, Safe, and Responsible Coal Mining*. 2019, pp. 303–312. DOI: 10.1016/B978-0-08-101288-8.00014-6.

5. Kazanin O., Sidorenko A., Sidorenko S., Ivanov V., Mischo H. High productive longwall mining of multiple gassy seams: best practice and recommendations // *Acta Montanistica Slovaca*. 2022, vol. 27, no. 1, pp. 152 – 162. DOI: 10.46544/AMS.v27i1.11.

6. 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. – Т. 257. – С. 795 – 806. DOI: 10.31897/PMI.2022.72.

7. 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. – С. 4–9. DOI: 10.21440/0536-1028-2018-2-4-9.

8. 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(2). – С. 80 – 91.

9. Зубов В. П. Состояние и направления совершенствования систем разработки угольных пластов на перспективных угольных шахтах Кузбасса // *Записки Горного института*. – 2017. – Т. 225. – С. 292 – 297. DOI: 10.18454/PMI.2017.3.292.

10. Лесных А. С., Моисеев А. К. Выбор и обоснование эффективной и безопасной технологии отработки межштрековых целиков / *Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых*. – Новокузнецк: СибГИУ, 2022. – С. 119 – 122.

11. Разумов Е. А., Венгер В. Г., Зеляева Е. А., Пудов Е. А., Калинин С. И. Опыт механизированной отработки мощных пологих пластов на угольных шахтах Кузбасса и рекомендации по отработке весьма мощных пологих пластов // *Уголь*. – 2021. – № 6. – С. 4 – 10. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-7-4-8.

12. Кобылкин С. С., Харисов А. Р. Особенности проектирования вентиляции угольных шахт, применяющих камерно-столбовую систему разработки // *Записки Горного института*. – 2020. – Т. 245. – С. 531 – 538. DOI: 10.31897/PMI.2020.5.4.

13. Nikiforov A. V., Vinogradov E. A., Kochneva A. A. Analysis of multiple seam stability // *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 2019, vol. 10, no. 2, pp. 1132 – 1139, available at <http://www.iaeme.com/ijciet/issues.asp?JType=IJCIET&VType=10&IType=2>.

14. Mark C., Agioutantis Z. Analysis of coal pillar stability (ACPS). A new generation of pillar design software // *International Journal of Mining Science and Technology*. 2019, vol. 29, no. 1, pp. 87 – 91. DOI: 10.1016/j.ijmst.2018.11.007.

15. Исабек Т. К., Сапаров К. А., Акатьев А. В., Баизбаев М. М. Технологические схемы отработки угольных целиков на базе различных вариантов короткозабойной технологии / *Современные тенденции и инновации в науке и производстве. Материалы X Международной научно-практической конференции*. – Междуреченск: КузГТУ, 2021.

16. Wen-Da Wu, Jian-Biao Bai, Xiang-Yu Wang, Shuai Yan, Shao-Xu Wu 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, vol. 52, no. 4, pp. 1231 – 1245. DOI: 10.1007/s00603-018-1654-3.

17. Гарашенко Ж. М., Габов В. В., Прялухин А. Ф. Технология, способы и технические средства отработки угольных целиков // *Транспортное, горное и строительное машиностроение наука и производство*. – 2022. – Т. 15. – С. 151 – 156. DOI: 10.26160/2658-3305-2022-15-151-156.

18. Федоров Е. В., Шенин Д. С. Результаты экспериментальной оценки газоносности разрабатываемых угольных пластов на шахте им. С.М. Кирова // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2019. – № 5. – С. 51 – 58. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-05-0-51-58.

19. Корнев А. В., Спицын А. А., Коршунов Г. И., Баженова В. А. Обеспечение пылевзрывобезопасности подземных горных выработок в угольных шахтах: методы и современные тенденции // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2023. — № 3. — С. 133–149. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_3_0_133.

20. Сенкус В. В., Сенкус Вал. В. Выбор варианта разработки Макарьевского угольного месторождения // Научно-технические технологии разработки и использования минеральных ресурсов. — 2020. — № 6. — С. 104–111.

21. Казанин О. И., Мешков А. А., Сидоренко А. А. Перспективные направления развития технологической структуры угольных шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 6-1. — С. 35–53. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_61_0_35.

22. Казанин О. И., Ярошенко В. В. Снижение потерь угля при отработке сближенных пластов донной части Воркутского месторождения // Записки Горного института. — 2020. — Т. 244. — С. 395–401. DOI: 10.31897/PMI.2020.4.1.

23. Heritage Y. Mechanics of rib deformation — observations and monitoring in Australian coal mines // International Journal of Mining Science and Technology. 2019, vol. 29, no. 1, pp. 119–129. DOI: 10.1016/j.ijmst.2018.11.017.

24. Кузнецова Л. В., Анферов Б. А. Селективная выемка полезных ископаемых: опыт, систематизация и перспективы применения при комплексном освоении угольных месторождений // Вестник Кузбасского государственного технического университета. — 2018. — Т. 18. — № 1. — С. 75–83. DOI: 10.26730/1999-4125-2018-1-75-83.

25. Казанин О. И., Сидоренко А. А., Мешков А. А. Организационно-технологические принципы реализации потенциала современного высокопроизводительного очистного оборудования // Уголь. — 2019. — № 12. — С. 4–13. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-12-4-13.

26. Szurgacz D., Brodny J. Adapting the powered roof support to diverse mining and geological conditions // Energies. 2020, vol. 13, no 2, article 405. DOI: 10.3390/en13020405

27. Rudzki P., Krot P. Dynamics control of powered hydraulic roof supports in the underground longwall mining complex // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021, vol. 942, no. 1, article 12014. DOI: 10.1088/1755-1315/942/1/012014.

28. Хосоев Д. В. Техничко-экономическое сравнение вариантов разработки сложноструктурных пластов Эльгинского месторождения // Известия УГГУ. — 2023. — № (69). — С. 139–147. DOI: 10.21440/2307-2091-2023-1-139-147.

29. Montiel L., Dimitrakopoulos R. Optimizing mining complexes with multiple processing and transportation alternatives: An uncertainty-based approach // European Journal of Operational Research. 2015, vol. 247, no 1, pp. 166-178. DOI: 10.1016/j.ejor.2015.05.002.

30. Романченко С. Б., Нагановский Ю. К., Корнев А. В. Инновационные способы контроля пылевзрывобезопасности горных выработок // Записки Горного института. — 2021. — № 252. — С. 927–936. DOI: 10.31897/PMI.2021.6.14.

31. Qiao Shuo, Jingyi Xia, Yimin Xia, Zaizheng Liu, Jinshu Liu, Ailun Wang Establishment of coal-rock constitutive models for numerical simulation of coal-rock cutting by conical picks // Periodica Polytechnica Civil Engineering. 2019, vol. 63, no. 2, pp. 456–464. DOI: 10.3311/PPci.13084.

32. Rajwa S. The influence of the geometrical construction of the powered roof support on the loss of a long-wall working stability based on the practical experience // Archives of Mining Sciences. 2020, vol. 65, no. 3, pp. 511–529. DOI: 10.24425/ams.2020.134132.

33. Guangxing Bai, Tianlong Xu Coal mine safety evaluation based on machine learning: A BP neural network model // Computational Intelligence and Neuroscience. 2022, vol. 2022. DOI: 10.1155/2022/5233845.

34. Shishlyannikov D., Zvonarev I. Investigation of the destruction process of potash ore with a single cutter using promising cross cutting pattern // Applied Sciences. 2021, vol. 11, no. 1, article 464. DOI: 10.3390/app11010464.

35. Калинин С. И., Роут Г. Н., Игнатов Ю. М., Черданцев А. М. Обоснование суточной добычи угля из лавы длиной 400 метров в условиях шахты им. В.Д. Ялевского // Вестник Кузбасского государственного технического университета. — 2019. — Т. 129. — № 5. — С. 27–34. DOI: 10.26730/1999-4125-2018-5-27-34. **ИДБ**

REFERENCES

1. Kazanin O., Sidorenko A., Drebensted C. Intensive underground mining technologies: Challenges and prospects for the coal mines in Russia. *Acta Montanistica Slovaca*. 2021, vol. 26, no. 1, pp. 60–69. DOI: 10.46544/AMS.v26i1.05.

2. Sheveleva O. B., Slesarenko E. V. Sustainable development of a coal-mining region: technological and ecological aspects. *Russian Journal of Economics and Law*. 2019, vol. 13, no. 4, pp. 1537–1548. [In Russ]. DOI: 10.21202/1993-047X.13.2019.4.1537-1548.

3. Plakitkina L. S., Plakitkin Yu. A., Dyachenko K. I. World trends of coal industry development. *Russian Mining Industry Journal*. 2019, vol. 143, no. 1, pp. 24–29. [In Russ]. DOI: 10.30686/1609-9192-2019-1-143-24-29.

4. Hirschi J. C. The role of research in the coal-mining industry: Moving forward using lessons from the past. *Advances in Productive, Safe, and Responsible Coal Mining*. 2019, pp. 303–312. DOI: 10.1016/B978-0-08-101288-8.00014-6.

5. Kazanin O., Sidorenko A., Sidorenko S., Ivanov V., Mischo H. High productive longwall mining of multiple gassy seams: best practice and recommendations. *Acta Montanistica Slovaca*. 2022, vol. 27, no. 1, pp. 152–162. DOI: 10.46544/AMS.v27i1.11.

6. 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, vol. 257, pp. 795–806. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2022.72.

7. Valiev N. G., Berkovich V. Kh., Propp V. D., Kokarev K. V. Problems of developing protection pillars under the exploitation of ore deposits. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal*. 2018, no. 2, pp. 4–9. [In Russ]. DOI: 10.21440/0536-1028-2018-2-4-9.

8. Kiziyarov O. L., Bolotov A. P., Smagina I. A. Estimation of the level of coal losses in the protective pillars under the technological scheme of excavation with the reversal of complex-mechanized cleaning face. *Innovative Scientific Research*. 2020, no. 12-1(2), pp. 80–91. [In Russ].

9. Zubov V. P. Status and directions of improvement of development systems of coal seams on perspective Kuzbass coal mines. *Journal of Mining Institute*. 2017, vol. 225, pp. 292–297. [In Russ]. DOI: 10.18454/PMI.2017.3.292.

10. Lesnykh A. S., Moiseev A. K. Selection and justification of effective and safe technology of mining of interstrip pillars. *Nauka i molodezh': problemy, poiski, resheniya: trudy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh* [Science and Youth: problems, searches, solutions: proceedings of the All-Russian Scientific Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists], Novokuznetsk, SibGIU, 2022, pp. 119–122. [In Russ].

11. Razumov E. A., Venger V. G., Zelyaeva E. A., Pudov E. Yu., Kalinin S. I. Experience in mechanized mining of thick gently sloping seams in Kuzbass coal mines and recommendations for mining very thick gently sloping seams. *Ugol'*. 2021, no. 6, pp. 4–10. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-7-4-8.

12. Kobylkin S. S., Kharisov A. R. Design features of coal mines ventilation using a room-and-pillar development system. *Journal of Mining Institute*. 2020, vol. 245, pp. 531–538. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2020.5.4.

13. Nikiforov A. V., Vinogradov E. A., Kochneva A. A. Analysis of multiple seam stability. *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 2019, vol. 10, no. 2, pp. 1132–1139, available at <http://www.iaeme.com/ijciet/issues.asp?JType=IJCIET&VType=10&IType=2>.

14. Mark C., Agioutantis Z. Analysis of coal pillar stability (ACPS). A new generation of pillar design software. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2019, vol. 29, no. 1, pp. 87 – 91. DOI: 10.1016/j.ijmst.2018.11.007.
15. Izabek T. K., Saparov K. A., Akatiev A. V., Baizbayev M. M. Technological schemes for mining coal pillars on the basis of a chamber development system. *Sovremennye tendentsii i innovatsii v nauke i proizvodstve. Materialy KH Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Modern trends and innovations in science and production. Materials of the X International Scientific and Practical Conference], Mezhdurechensk, KuzGTU, 2021. [In Russ].
16. Wen-Da Wu, Jian-Biao Bai, Xiang-Yu Wang, Shuai Yan, Shao-Xu Wu 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, vol. 52, no. 4, pp. 1231 – 1245. DOI: 10.1007/s00603-018-1654-3.
17. Garashchenko Zh. M., Gabov V. V., Pryalukhin A. F. Technology, methods and technical means of extracting coal pillars. *Transport, mining and construction engineering: science and production*. 2022, vol. 15, pp. 151 – 156. [In Russ]. DOI: 10.26160/2658-3305-2022-15-151-156.
18. Fedorov E. V., Shenin D. S. Experimental evaluation data on gas content of working coal seams in Kirov Mine. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no. 5, pp. 51 – 58. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-05-0-51-58.
19. Kornev A. V., Spitsyn A. A., Korshunov G. I., Bazhenova V. A. Preventing dust explosions in coal mines: Methods and current trends. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023, no. 3, pp. 133 – 149. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_3_0_133.
20. Senkus V. V., Senkus Val. V. Selecting mining scenario for the Makarievsky coal site. *Naukoemkie tekhnologii razrabotki i ispol'zovaniya mineral'nykh resursov*. 2020, no. 6, pp. 104 – 111. [In Russ].
21. Kazanin O. I., Meshkov A. A., Sidorenko A. A. Prospects for development of a technological structure of underground coal mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 6-1, pp. 35 – 53. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_61_0_35.
22. Kazanin O. I., Yaroshenko V. V. Decrease in coal losses during mining of contiguous seams in the near-bottom part at Vorkuta deposit. *Journal of Mining Institute*. 2020, vol. 244, pp. 395 – 401. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2020.4.1.
23. Heritage Y. Mechanics of rib deformation – observations and monitoring in Australian coal mines. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2019, vol. 29, no. 1, pp. 119 – 129. DOI: 10.1016/j.ijmst.2018.11.017.
24. Kuznetsova L. V., Anfyorov B. A. Selective extraction of minerals: experience, systematization and prospects of application at complex development of coal deposits. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2018, vol. 18, no. 1, pp. 75 – 83. [In Russ]. DOI: 10.26730/1999-4125-2018-1-75-83.
25. Kazanin O. I., Sidorenko A. A., Meshkov A. A. Organizational and technological principles of realization of the modern high productive longwall equipment capacity. *Ugol'*. 2019, no. 12, pp. 4 – 13. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-12-4-13.
26. Szurgacz D., Brodny J. Adapting the powered roof support to diverse mining and geological conditions. *Energies*. 2020, vol. 13, no 2, article 405. DOI: 10.3390/en13020405
27. Rudzki P., Krot P. Dynamics control of powered hydraulic roof supports in the underground longwall mining complex. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021, vol. 942, no. 1, article 12014. DOI: 10.1088/1755-1315/942/1/012014.
28. Khosoev D. V. Technical and economic comparison of options for the development of complex structural formations of the Elga field. *News of the Ural State Mining University*. 2023, no. (69), pp. 139 – 147. [In Russ]. DOI: 10.21440/2307-2091-2023-1-139-147.
29. Montiel L., Dimitrakopoulos R. Optimizing mining complexes with multiple processing and transportation alternatives: An uncertainty-based approach. *European Journal of Operational Research*. 2015, vol. 247, no 1, pp. 166-178. DOI: 10.1016/j.ejor.2015.05.002.

30. Романченко С. Б., Нагановский Ю. К., Корнев А. В. Инновационные способы контроля пылевзрывобезопасности горных выработок. *Journal of Mining Institute*. 2021, no. 252, pp. 927 – 936. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2021.6.14.

31. Qiao Shuo, Jingyi Xia, Yimin Xia, Zaizheng Liu, Jinshu Liu, Ailun Wang Establishment of coal-rock constitutive models for numerical simulation of coal-rock cutting by conical picks. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*. 2019, vol. 63, no. 2, pp. 456 – 464. DOI: 10.3311/PPci.13084.

32. Rajwa S. The influence of the geometrical construction of the powered roof support on the loss of a long-wall working stability based on the practical experience. *Archives of Mining Sciences*. 2020, vol. 65, no. 3, pp. 511 – 529. DOI: 10.24425/ams.2020.134132.

33. Guangxing Bai, Tianlong Xu Coal mine safety evaluation based on machine learning: A BP neural network model. *Computational Intelligence and Neuroscience*. 2022, vol. 2022. DOI: 10.1155/2022/5233845.

34. Shishlyannikov D., Zvonarev I. Investigation of the destruction process of potash ore with a single cutter using promising cross cutting pattern. *Applied Sciences*. 2021, vol. 11, no. 1, article 464. DOI: 10.3390/app11010464.

35. Kalinin S. I., Rout G. N., Ignatov Yu. M., Cherdantsev A. M. Justification of daily coal mining from lava 400 meters long in the conditions of the V.D. Yalevsky mine. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2019, vol. 129, no. 5, pp. 27 – 34. [In Russ]. DOI: 10.26730/1999-4125-2018-5-27-34.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Габов Виктор Васильевич¹ – д-р техн. наук, профессор, профессор,

e-mail: gvv40@mail.ru,

ORCID ID: 0000-0002-6587-2446,

Гаращенко Жанна Максимовна¹ – аспирант,

e-mail: s215047@stud.spmi.ru,

¹ Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II.

Для контактов: Гаращенко Ж.М., e-mail: s215047@stud.spmi.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

V.V. Gabov¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor,

Professor, e-mail: gvv40@mail.ru,

ORCID ID: 0000-0002-6587-2446,

Zh.M. Garashchenko¹, Graduate Student,

e-mail: s215047@stud.spmi.ru,

¹ Empress Catherine II Saint-Petersburg Mining University, 199106, Saint-Petersburg, Russia.

Corresponding author: Zh.M. Garashchenko, e-mail: s215047@stud.spmi.ru.

Получена редакцией 06.07.2023; получена после рецензии 13.09.2023; принята к печати 10.10.2023.

Received by the editors 06.07.2023; received after the review 13.09.2023; accepted for printing 10.10.2023.

