

Научная статья

УДК 622.232.8

DOI: 10.26730/1999-4125-2024-2-100-107

**ТЕХНОЛОГИЯ ОТРАБОТКИ ЦЕЛИКОВ СЕКЦИОННЫМИ  
УНИФИЦИРОВАННЫМИ ВЫЕМОЧНЫМИ МОДУЛЯМИ****Габов Виктор Васильевич,  
Гаращенко Жанна Максимовна**

Санкт-Петербургский горный университет

\* для корреспонденции: gvv40@mail.ru

**Информация о статье**

Поступила:

01 марта 2024 г.

Одобрена после

рецензирования:

15 мая 2024 г.

Принята к публикации:

29 мая 2024 г.

Опубликована:

13 июня 2024 г.

**Ключевые слова:**шахта, уголь, целик,  
выемочный модуль,  
структура, технология**Аннотация.**

Каменные угли относятся к важнейшим твердым полезным ископаемым. Владение большими запасами полезного ископаемого является одним из признаков значимости предприятий, отраслей промышленности и даже независимости стран. Запасы углей относятся к невозобновляемым ресурсам, следовательно, стратегия их добычи и использования должна быть рачительной. Практически любая отработка угольных запасов сопровождается формированием в пределах шахтных полей целиков различных назначений, форм и размеров, со своим разнообразием условий их залегания. Некоторые целики выполняют длительные специальные, в том числе защитные функции и не могут быть извлечены. Часть из целиков после выполнения ими специальных функций может быть отработана с использованием специальных технологий и технических средств. Разнообразие значений параметров целиков и условий их залегания предполагает необходимость разработки специальных технологий и соответствующих технических средств для их отработки по группам условий с близкими значениями их параметров.

В статье анализируются технологии и предлагаются унифицированные выемочные модули для отработки целиков, сформулированы требования к структуре, к технологии их функционирования и к техническому оснащению унифицированных выемочных модулей.

**Для цитирования:** Габов В.В., Гаращенко Ж.М. Технология отработки целиков секционными унифицированными выемочными модулями // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2024. № 2 (162). С. 100-107. DOI: 10.26730/1999-4125-2024-2-100-107, EDN: GDCMJJ

**Введение.** Запасы каменных углей в пределах полей действующих шахт подвергаются активному технологическому воздействию: в обрабатываемых полях погашаются старые и проводятся новые выработки, формируются целики и реализуется стратегия полноты извлечения запасов. В сформировавшихся целиках [1] действующих предприятий по оценкам ряда исследователей [2,3], содержится до 30% от балансовых запасов угля, что делает часть из них весьма привлекательными для последующей отработки.

Разнообразие размеров и прочностных свойств угольных целиков, вмещающих их

пород, параметров выработок [4] и горно-геологических условий их залегания в совокупности определяют необходимость разработки соответствующего разнообразия избирательных технологий и технических средств для их отработки, что технологически и организационно осуществить весьма сложно и экономически не всегда целесообразно. Необходимы унифицированные избирательные технологии и технические средства [5], которые смогут обеспечить своевременную, согласованную с отработкой основных запасов отработку целиков разнообразных форм,

размеров [6] и в разнообразных условиях их залегания.



*Рис. 1. Отделение угля от массива отбойным молотком (автор фото: Михаил Почуев/TACC)*

*Fig. 1. Cutting coal from the massif with a jackhammer (photo by Mikhail Pochuev/TASS)*

Однако, несмотря на общий прогресс [7] в развитии технологий [8] и технических средств подземной добычи [9,10] полезного ископаемого, обработка угольных целиков ведется до настоящего времени не системно, не разработаны унифицированные избирательные технологии и технические средства для обработки целиков. Значимая часть целиков не извлекается. Во многих случаях их обработка ведется с использованием устаревших технологий [11, 12] и технических средств, в частности, с использованием отбойных молотков (Рис 1). Все это ограничивает интенсивность работ, приводит к несвоевременности обработки целиков и снижает эффективность и полноту извлечения запасов.

При системном подходе к решению этой проблемы всегда можно выделить группы целиков с близкими значениями их основных параметров, пригодных для извлечения запасов по единой технологии. К ним относятся следующие параметры: условия залегания целиков, объем полезного ископаемого, содержащегося в целиках и возможность обработки таких участков без влияния на порядок обработки основных запасов.

Проведение исследований и разработка способов отделения угля от массива [13], унифицированных избирательных технологий [14] и мобильных технических средств, обеспечивающих своевременную эффективную обработку целиков разных форм, размеров и в разнообразных условиях их залегания, были и остаются актуальными задачами.

#### **Обсуждение технологий и технических средств обработки угольных целиков**

Основными исходными данными для выбора технологий и технических средств обработки целиков являются следующие:

- геометрические параметры (мощность пласта, ширина и длина целика;
- прочностные свойства целиков как объектов обработки [15];
- прочностные свойства породных массивов, вмещающих целики;
- наличие мобильных унифицированных технических средств разрушения массива и транспортирования разрушенной массы, технических средств крепления кровли [16] и управления горным давлением [17].

Обработка целиков, как и другие горные работы [18], должна опираться на имеющийся опыт использования апробированных технологий [19] и технических средств на горных, преимущественно угольных, предприятиях [20]. Разнообразие размеров, условий залегания и прочностных свойств целиков предопределяет целесообразность использования избирательных технологий [21] обработки забоев и унифицированных мобильных технических средств для их обработки.

Избирательные технологии обработки забоя [22], ориентированные на использование унифицированных модульных комплексов, можно разделить по способу отделения породы [23] от массива на две группы: фронтальную избирательную обработку забоев локальными забоями с отделением породы от массива резанием (Рис. 2 а), и на уступную избирательную обработку локальных забоев с отделением породы от массива скальванием (Рис. 2 б).

Фронтальная технология опирается на опыт комплексной механизации очистных работ с отделением полезного ископаемого от массива резанием с использованием комбайнов, стругов, поддержанием кровли и управлением горным давлением секциями механизированной крепи (СМК) с циклическими перемещениями очистного забоя и оборудования очистного комплекса на забой и транспортированием разрушенной горной массы забойным скребковым конвейером с зачистным лемехом.

Уступная технология опирается на избирательный процесс отделения полезного ископаемого от массива крупными сколами, которая иногда используется, в частности, при проведении выработок и при добыче полезного ископаемого в камерах.

Избирательность технологий [24] заключается в возможности выбора

статического, статико-динамического или динамического (ударного) способа отделения полезного ископаемого от массива, в варьировании толщины и ширины отделяемого слоя (среза), в выборе места и направления первого и последующих срезов/сколов при обработке забоя.

#### Структура комплекса обработки целиков

Учитывая, что размеры забоя и прочностные свойства массивов обрабатываемых целиков могут различаться в широком диапазоне, и состав операций цикла при обработке целиков включает все операции процесса добычи угля очистными механизированными комплексами в комплексно-механизированные очистные забой, то и предлагаемый вариант комплекса для обработки целиков должен включать комплект технических средств:

- комплект забойных унифицированных выемочных модулей (УВМ) (выполненных на базовой конструкции – секции механизированной крепи), который должен обеспечивать избирательный способ отделения угля от массива;

- погрузочно-транспортующее средство – скребковый забойный конвейер с зачистным лемехом, который обеспечивает погрузку угля, его транспортировку и зачистку почвы;

- поддержание кровли и управление горным давлением секциями механизированной крепи УВМ.

Структура, конструктивное исполнение и значение параметров выемочного модуля должны соответствовать структуре и параметрам принятой избирательной технологии обработки

забоя и обработки целика в целом и обеспечивать:

- возможность унификации компоновок выемочных модулей на базе несущей конструкции СМК;

- режущее непрерывное или скальвающее импульсное воздействие исполнительного органа выемочного модуля на разрушаемый массив в зависимости от его прочности;

- рекомендуемую толщину отделяемого слоя резанием до 100 мм по условию конструктивного исполнения резцов и до 300 мм при скальвании;

- допустимость стопорных режимов в процессе отделения слоя угля (породы) от массива;

- возможность приложения повторных статико-динамических нагрузок рабочего инструмента к разрушаемому массиву;

- непрерывное подавление пыли и охлаждение рабочего инструмента подачей воды в зону взаимодействия резца с разрушаемым массивом.

Технология обработки забоя с механическим способом отделения угля от массива включает в общем случае следующие операции (Рис. 3): образование врубовой полости; скальвание пачки угля у непосредственной кровли; последующие срезы/сколы слоев угля параллельно почве/кровле пласта; срез слоя у почвы пласта и перемещение забойного оборудования на шаг перемещения СМК в забое.

Интенсивность устанавливается в зависимости от принятой на предприятии основной технологии в каждом конкретном случае. При этом варианты обработки угольного

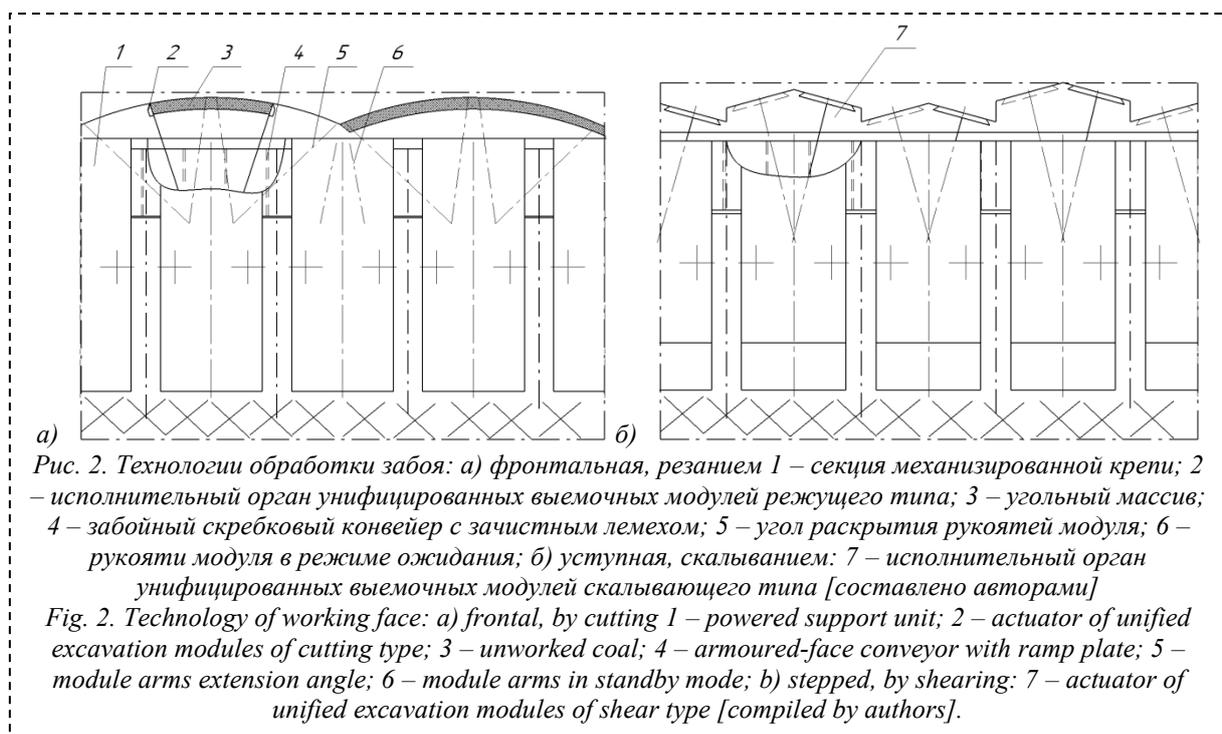


Рис. 2. Технологии обработки забоя: а) фронтальная, резанием 1 – секция механизированной крепи; 2 – исполнительный орган унифицированных выемочных модулей режущего типа; 3 – угольный массив; 4 – забойный скребковый конвейер с зачистным лемехом; 5 – угол раскрытия рукоятей модуля; 6 – рукоятей модуля в режиме ожидания; б) уступная, скальванием: 7 – исполнительный орган унифицированных выемочных модулей скальвающего типа [составлено авторами]

Fig. 2. Technology of working face: a) frontal, by cutting 1 – powered support unit; 2 – actuator of unified excavation modules of cutting type; 3 – unworked coal; 4 – armoured-face conveyor with ramp plate; 5 – module arms extension angle; 6 – module arms in standby mode; b) stepped, by shearing: 7 – actuator of unified excavation modules of shear type [compiled by authors].

целика могут быть разные. Рассмотрим в статье более привычную технологию резанием.

**Пример технологии**

Рассмотрим вариант отработки локального забоя угольного целика по пласту средней мощности без четко выраженных систем трещиноватости по восстанию, с устойчивой кровлей по Борисову А. А. и при отсутствии ложной кровли. Для известных условий всегда могут быть обоснованы рациональные унифицированные технологии и структура технических средств выемочного модуля с наиболее экономичным механическим способом разрушения угольного или (и) породного массива, по сравнению, например, с гидравлическим способом.

В режиме резания, если опасного отжима пласта нет, то первый срез рационально провести в зоне наибольшего отжима (по мощности пласта) на допустимую толщину среза  $h$  до 100 мм по конструктивному вылету резца. Далее могут быть осуществлены последовательно срезы в массиве от почвы до кровли. Для обеспечения избирательности обработки забоя отношение ширины единичного среза исполнительным органом к суммарной мощности разрушаемого слоя рекомендуется принимать не более чем 0.3. Для обеспечения безопасности работ рекомендуется установка дополнительной крепи в забое: анкерной [25], костровой, отдельных деревянных или металлических стоек и пр.

Вариант избирательной технологии может быть реализован фронтальной отработкой УВМ целиков параллельными полосами по длине целика с шириной локального забоя, равной шагу расстановки УВМ, глубиной отработки забоя за цикл, равной шагу перемещения СМК, и фронтальной скоростью перемещения забоя, согласованной со скоростью отработки смежного основного забоя (лавы при ее наличии).

Длительность (теоретическая) цикла последовательных операций обработки локального забоя по мощности пласта на толщину среза  $h$  будет равна (1):

$$t_{ц,тн} = t_{кр} + t_{ар} + \sum t_{срi} + t_n + 2t_{нз} \quad (1)$$

где  $t_{кр}$  – время скальвания козырьком СМК пачки угля от непосредственной кровли;

$t_{ар}$  – время оформления врубовой полости;

$t_{срi}$  – время  $i$ -того среза;

$t_n$  – время, необходимое для осуществления среза слоя у почвы пласта;

$t_{нз}$  – время позиционирования исполнительного органа в начале и в конце цикла операций.

Время выполнения УВМ каждой операции включает соответствующее время холостого хода и позиционирования исполнительного органа. Длительность цикла при последовательных не совмещаемых операциях будет равна (2):

$$T_{ц} = (t_{кр} + t_{ар} + \sum t_{срi} + t_n + 2t_{нз}) \frac{B_{кр}}{h}. \quad (2)$$

Количество разрушенного угля в локальном забое за цикл операций составит (3):

$$M_{ц} = l_{ц} H_{ц} B_{з} \gamma \quad (3)$$

где  $l_{ц}$  – шаг расстановки УВМ по длине забоя;

$H_{ц}$  – толщина пласта;

$B_{з}$  – глубина отработки забоя за цикл (шаг передвижки секций крепи комплекса);

$\gamma$  – плотность угля в массиве.

Шаг передвижения УВМ в общем случае кратный толщине среза  $h_i$  и может быть выражен отношением (4):

$$B_{з} = h_i N_h \quad (4)$$

где  $N_h$  – количество срезов по глубине забоя за цикл.

Тогда теоретическая производительность модуля при непрерывном процессе отделения угля от массива без учета времени на осмотр и замену резцов будет равна (5):

$$q_m = \frac{M_{ц}}{T_{ц}} = \frac{l_{ц} H_{ц} B_{з} \gamma}{(t_{кр} + t_{ар} + \sum t_{срi} + t_n + 2t_{нз}) \frac{B_{з}}{h}} \quad (5)$$

При известных данных выемочного модуля и условиях его эксплуатации формула (5) может быть использована в качестве исходной для составления формулы его технической и эксплуатационной производительности.

У рассмотренного способа отделения угля от массива есть следующие недостатки:

- серповидный по форме срез;
- ограниченный по толщине срез в связи с конструктивными особенностями резцов;
- переизмельчение отделяемого от массива угля;
- возможность стопорных режимов.

При дальнейшем исследовании необходимо рассмотреть и проанализировать возможности способа отделения угля скальванием.

Рассмотренная в данной статье методика обеспечивает определение параметров УВМ в зависимости от заданных его производительности, горно-геологических условий и параметров режима его работы.

**Выводы:**

1. Разнообразие прочностных и геометрических параметров целиков обеславливает необходимость использования избирательной технологии обработки локального забоя.

2. Толщина отделяемого слоя исполнительным органом устанавливается в зависимости от прочности массива, заданной производительности модуля и параметров резцов/скальвателей.

Многообразие условий предполагает корректировки методик отработки целика для каждых конкретных условий.

**Список литературы**

1. Ярошенко В. В. Направления повышения коэффициента извлечения угля при доработке

запасов Воркутского месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2019. №4. (специальный выпуск 7). С. 370–380. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-4-7-370-380.

2. 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.

3. Зубов В. П., Голубев Д. Д. Перспективы использования современных технологических решений при отработке пологих пластов угля с учетом опасности формирования очагов его самовозгорания // Записки горного института. 2021. Т. 250. № 4. С. 534–541. DOI: 10.31897/PMI.2021.4.6.

4. Разумов Е. А., Калинин С. И., Лупий М. Г., Пудов Е. Ю. Оценка влияния длины лавы и скорости подвигания лавы на основные геомеханические процессы в очистных механизированных забоях. Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2021. № 2. С. 83–92. DOI: 10.26730/1999-4125-2021-2-83-92.

5. Агафонов В. В., Тихонов А. В. Классификация технических решений и технических средств для извлечения запасов из угольных целиков // ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2008. №11. С. 176–179.

6. Бакуменко С. В., Кузьмин С. В., Демехин Д. Н., Власенко Д. С. К вопросу о размерах охранных целиков у горных выработок на подработанных пластах (состояние вопроса) // ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. №7. С. 11–16.

7. Сидоренко А. А., Мешков С. А. Обоснование параметров технологических схем интенсивной отработки склонных к самовозгоранию мощных угольных пластов // ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2022. № 6–1. С. 83–99. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_61\_0\_83.

8. Chen L., Zhang D., Fan G., Zhang S., Wang X., Zhang W. A New Repeated Mining Method With Preexisting Damage Zones Filled for Ultra-Thick Coal Seam Extraction – Case Study // *Frontiers in Earth Science*. 2022. Vol. 10. P. 1–14. DOI: 10.3389/feart.2022.835867.

9. Клевцов В. А., Тимофеев Д. Ю., Халимоненко А. Д. Повышение качества горных машин на этапе проектирования технологических процессов их изготовления // Вестник машиностроения. 2023. № 9. С. 731–740. DOI: 10.36652/0042-4633-2023-102-9-731-740.

10. Стародубов А. Н., Клишин В. И., Кадочигова А. Н., Каплун А. В. Исследование технологии добычи угля в сложных горно-

геологических условиях с использованием математического моделирования // Горная промышленность. 2023. №5S. С. 47–52. DOI: <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-5S-47-52>.

11. 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: <http://dx.doi.org/10.21202/1993-047X.13.2019.4.1537-1548>.

12. Лысенко М. В., Аушев Е. В., Дудин А. А. Способы повышения полноты извлечения запасов угля // Уголь. 2022. № 11. С. 48–54. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-11-48-54.

13. Matusiak P., Kowol D., Suponik T., Franke D. M., Nuckowski P. M., Tora B., Pomykala R. Selective Crushing of Run-of-Mine as an Important Part of the Hard Coal Beneficiation Process // *Energies*. 2021. Vol. 14. P. 3167. DOI: <https://doi.org/10.3390/en14113167>

14. Malashkevych D., Petlovanyi M., Sai K., Zubko S. Research into the coal quality with a new selective mining technology of the waste rock accumulation in the mined-out area // *Mining of Mineral Deposits*. 2022. Vol. 16. P. 103–114. DOI: 10.33271/mining16.04.103.

15. 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

16. Аксенов З. В. Исследование межслоевых деформаций, возникающих при посадке основной кровли угольного пласта // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2021. № 9. С. 23–35. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-9-0-23.

17. Раджва С. Влияние геометрической конструкции опоры питаемой кровли на потерю устойчивости работы лавы на основе практического опыта // *Archives of Mining Sciences* 2020. Т. 65. № 3. С. 511–529. DOI: 10.24425/ams.2020.134132 .

18. Анферов Б. А., Кузнецова Л. В., Борисов И. Л. Открыто-подземная разработка нетехнологичных запасов угля терсинского геолого-экономического района Кузбасса Геотехнология // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2014. Т. 5 (105). С. 44–49.

19. Казанин О. И., Ильинец А. А. Обеспечение устойчивости выемочных выработок при подготовке выемочных участков пологих угольных пластов тремя выработками // Записки Горного института. 2022. Том 253. С. 41–48. DOI:10.31897/PMI.2022.1.

20. Сальникова Е. Б., Гринева М. Н. Угольная промышленность России в условиях ориентации на углеродно-нейтральную экономику // *Universum*:

экономика и юриспруденция. 2022. Т. 1. № 88. С 16–19.

21. 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.

22. Vidal Félix Navarro Torres, Carlos Dinis da Gama, Matilde Costa e Silva, Paula Falcão Neves, Qiang Xie. Comparative stability analyses of traditional and selective room-and-pillar mining techniques for sub-horizontal tungsten veins // International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials. 2011. Т. 18. № 1. С. 1–8. DOI: 10.1007/s12613-011-0392-2.

23. Таланин В. В., Бехер В. Г. Обоснование

интенсивности обработки маломощных и сложноструктурных угольных пластов крутого падения // ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019. №6. С.88–96. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-06-0-88-96.

24. Ермаков С. А., Хосоев Д. В. Оценка эффективности селективной разработки сложноструктурных угольных пластов Эльгинского месторождения // Горная промышленность. 2018. №2 (138).

25. Сидоренко А. А., Апарин А. Г., Дмитриев П. Н. Совершенствование методики расчета параметров анкерной крепи выработок угольных шахт в зонах влияния сближенных угольных пластов // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal. 2022. Т. 3. №. 3. С. 82–94. DOI: 10.21440/0536-1028-2022-3-82-94.

© 2024 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

**Габов Виктор Васильевич**, профессор кафедры машиностроения, д.т.н., профессор, Санкт-Петербургский горный университет, (Санкт-Петербург, 199106, Россия, 21-я линия Васильевского острова, 2), e-mail: gvv40@mail.ru

**Гарашенко Жанна Максимовна**, аспирант кафедры машиностроения, Санкт-Петербургский горный университет, (Санкт-Петербург, 199106, Россия, 21-я линия Васильевского острова, 2), e-mail: s215047@stud.spmi.ru

Заявленный вклад авторов:

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

Гарашенко Жанна Максимовна – выполнение работы по систематизации материала, получение данных для анализа, анализ результатов исследования и подготовка данных, написание текста статьи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

## Original article

### TECHNOLOGY OF PILLAR EXTRACTION WITH SECTIONAL UNIFIED EXCAVATION MODULES

Victor V. Gabov,  
Zhanna M. Garashchenko

Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University

\*for correspondence: gvv40@mail.ru



#### Article info

Received:

01 March 2024

Accepted for publication:

15 May 2024

#### Abstract.

Hard coal is one of the most important solid minerals. The possession of large mineral reserves is one of the signs of the importance of companies, industries and even the independence of countries. Coal reserves are non-renewable resources and, therefore, the strategy for their extraction and exploitation must be prudent. Practically any extraction of coal reserves is accompanied by the formation of pillars of various purposes, shapes and sizes within the mine fields, with their variety of conditions of their occurrence. Some pillars fulfil long-term special, including protective

Accepted:  
29 May 2024

Published:  
13 June 2024

**Keywords:** mine, coal, pillar, excavation module, structure, technology

functions and cannot be extracted. Some of pillars, after they fulfil special functions, can be worked out using special technologies and technical means. The variety of pillar parameters and conditions of their occurrence implies the necessity to develop special technologies and appropriate technical means for their mining according to groups of conditions with close values of their parameters. The article analyses technologies and proposes unified excavation modules for pillar extraction, formulates requirements to the structure, to the technology of their operation and to the technical equipment of unified excavation modules.

**For citation:** Gabov V.V., Garashchenko Z.M. Technology of pillar extraction with sectional unified excavation modules. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2024; 2(162):100-107. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2024-2-100-107, EDN: GDCMJJ

#### REFERENCES

1. Yaroshenko V.V. Ways of increasing the degree of coal extraction in cleaning-up of vorkutskoe deposit. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019; 4/7:370–380. [In Russ] DOI: 10.25018/0236-1493-2019-4-7-370-380.
2. Valiev N.G., Berkovich V.Kh., Propp V.D., Kokarev K.V. Problems of developing protection pillars under the exploitation of ore deposits. *Minerals and Mining Engineering*. 2018; 2:4–9. DOI: 10.21440/0536-1028-2018-2-4-9.
3. Zubov V.P., Golubev D.D. Prospects for the use of modern technological solutions in the flat-lying coal seams development, taking into account the danger of the formation of the places of its spontaneous combustion. *Journal of Mining Institute*. 2021; 250:534–541. DOI: 10.31897/PMI.2021.4.6.
4. Razumov E.A., Kalinin S.I., Lupiy M.G., Pudov E.Y. Estimation of the influence of the lava length and the velocity of lava movement on the basic geomechanical processes in treatment mechanized slots. *Vestnik of Kuzbass State Technical University*. 2021; 2:83–92. [In Russ], DOI: 10.26730/1999-4125-2021-2-83-92.
5. Agafonov V.V., Tikhonov A.V. Klassifikatsiya tekhnicheskikh resheniy i tekhnicheskikh sredstv dlya izvlecheniya zapasov iz ugol'nykh tselikov. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2008; 11:176–179. [In Russ]
6. Bakumenko S.V., Kuz'min S.V., Demekhin D.N., Vlasenko D.S. K voprosu o razmerakh okhrannykh tselikov u gornykh vyrabotok na podrabotannykh plastakh (sostoyanie voprosa) [On the issue of the dimensions of protective pillars at mine workings in underworked seam (status of the issue)]. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2015; 7:11–16.
7. Sidorenko A.A., Meshkov S.A. Justification of technologies parameters for intensive mining of prone to spontaneous combustion thick coal seams. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022; 6–1:83–99. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_6\_1\_83.
8. Chen L., Zhang D., Fan G., Zhang S., Wang X., Zhang W. A New Repeated Mining Method With Preexisting Damage Zones Filled for Ultra-Thick Coal Seam Extraction – Case Study. *Frontiers in Earth Science*. 2022; 10:1–14. DOI: 10.3389/feart.2022.835867.
9. Klevtsov V.A. Timofeev D.Yu., Khalimonenko A.D. Povyshenie kachestva gornykh mashin na etape proektirovaniya tekhnologicheskikh protsessov ikh izgotovleniya [Improving the quality of mining machines at the stage of designing technological processes of their manufacture]. *Russian engineering research*. 2023; 9:731–740.
10. Starodubov A.N., Klishin V.I., Kadochigova A.N., Kaplun A.V. Research of coal mining technology in complex ground conditions using mathematical modeling/ *Russian Mining Industry*. 2023; 5S:47–52. [In Russ] DOI: <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-5S-47-52>.
11. Sheveleva O.B., Slesarenko E.V. Sustainable development of a coal-mining region: technological and ecological aspects. *Actual Problems of Economics and Law*. 2019; 13(4):1537–1548. [in Russ.] DOI: <http://dx.doi.org/10.21202/1993-047X.13.2019.4.1537-1548>.
12. 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.] DOI: 10.18796/0041-5790-2022-11-48-54.
13. Matusiak P., Kowol D., Suponik T., Franke D.M., Nuckowski P.M., Tora B., Pomykala R. Selective Crushing of Run-of-Mine as an Important Part of the Hard Coal Beneficiation Process. *Energies*. 2021; 14:3167. DOI: <https://doi.org/10.3390/en14113167>.
14. Malashkevych D., Petlovanyi M., Sai K., Zubko S. Research into the coal quality with a new selective mining technology of the waste rock accumulation in the mined-out area. *Mining of Mineral Deposits*. 2022; 16:103–114. DOI: 10.33271/mining16.04.103.
15. Zubov V.P. Status and directions of improvement of development of coal seams on perspective Kuzbass coal mines. *Journal of Mining Institute*. 2017; 225:292–297. DOI: 10.18454/PMI.2017.3.292.
16. Aksenov Z.V. Interlaminar deformations during top coal caving. *Mining informational and analytical bulletin*. 2021; 9:23–35. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_9\_0\_23.

17. Rajwa S. The influence of the geometrical construction of the powered roof support on the loss of a longwall working stability based on the practical experience. *Archives of Mining Sciences*. 2020; 65(3):511–529. DOI: 10.24425/ams.2020.134132.

18. Anferov B.A., Kuznetsova L.V., Borisov I.L. Otkryto-podzemnaya razrabotka netekhnologichnykh zapasov uglja tersinskogo geologo - ekonomicheskogo rayona Kuzbassa Geotekhnologiya. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2014; 5(105):44–49. [In Russ].

19. Kazanin O.I., Ilinets A.A. Ensuring the excavation workings stability when developing excavation sites of flat-lying coal seams by three workings. *Journal of Mining Institute*. 2022; 253:4148. DOI:10.31897/PML.2022.1.

20. Salmikova E.B., Grineva M.N. Coal industry in russia in the conditions of orientation to a carbon-neutral economy. *Universum: Economics and Jurisprudence*. 2022; 1(88):16–19. [In Russ]

21. Kuznetsova L.V., Anferov B.A. Selective extraction of minerals: experience, systematization and prospects of application at complex development of coal deposits. *Vestnik of Kuzbass State Technical University*. 2018; 18(1):75–83.

22. Vidal Félix Navarro Torres, Carlos Dinis da Gama, Matilde Costa e Silva, Paula Falcão Neves, Qiang Xie. Comparative stability analyses of traditional and selective room-and-pillar mining techniques for sub-horizontal tungsten veins. *International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials*. 2011; 18(1):1–8. DOI: 10.1007/s12613-011-0392-2.

23. Talanin V. V., Bekher V. G. Justification of mining rate for steeply dipping thin and complex-structure coal seams. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019; 6:88–96. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-06-0-88-96.

24. Ermakov S.A., Hosoev D.V. Ocenka jeffektivnosti selektivnoj razrabotki slozhnostrukturnykh ugol'nyh plastov Jel'ginskogo mestorozhdenija. *Gornaja promyshlennost'*. 2018; 2:138. [In Russ]. DOI: <http://dx.doi.org/10.30686/1609-9192-2018-2-138-73-74>.

25. Sidorenko A.A., Aparin A.G., Dmitriev P.N. Improving the calculation method for rock bolting parameters of coal mine workings in influence zones of contiguous coal seams. *Minerals and Mining Engineering*. 2022; 3(3):82–94. DOI: 10.21440/0536-1028-2022-3-82-94

© 2024 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

*The authors declare no conflict of interest.*

*About the authors:*

**Victor V. Gabov**, Professor, Department of Mechanical Engineering, Doctor of Technical Sciences, Professor, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, (St. Petersburg, 21st Line, 2, 199106, Russia), e-mail: [gvv40@mail.ru](mailto:gvv40@mail.ru)

**Zhanna M. Garashchenko**, post-graduate student, Department of Mechanical Engineering, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, (St. Petersburg, 21st Line, 2, 199106, Russia), e-mail: [s215047@stud.spmi.ru](mailto:s215047@stud.spmi.ru)

*Contribution of the authors:*

Victor V. Gabov – generation of the idea of research, setting goals and objectives of research, editing the text of the article.

Zhanna M. Garashchenko – performing work on the systematization of material, obtaining data for analysis, analyzing research results and preparing data, writing the text of the article.

*All authors have read and approved the final manuscript.*

