

## АКТУАЛЬНОСТЬ И ОБЛАСТЬ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИЗБИРАТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ЗАБОЯ ПРИ ДОБЫЧЕ УГЛЯ

*Карпов Ф.Д., Габов В.В.*

*Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург*

**Ключевые слова:** уголь, целик, отработка, избирательность, выемочный модуль, условия, прочность.

**Аннотация.** В статье рассмотрены используемые в настоящее время технологии обработки угольных забоев в процессах добычи угля, их преимущества и недостатки. Изучены факторы, отражающие многообразие условий залегания угля. Отмечено, что в связи с разнообразными горно-геологическими и технологическими условиями залегания угля применение интенсивных технологий их отработки не эффективно, редко используется и приводит к снижению объема извлекаемых запасов. Для увеличения полноты выемки угля предлагается использовать избирательные технологии обработки забоя и унифицированные технические средства для скальвания и срезания пород с их помощью. Рассматривается возможность использования щитовых секций механизированной крепи поддерживающе-оградительного типа в качестве базовой конструкции выемочного модуля. Для отработки угольного массива обсуждается применение стреловидного исполнительного органа с возможностью циклического перемещения по трем координатам.

## RELEVANCE AND SCOPE OF RATIONAL USE OF SELECTIVE FACE TREATMENT IN COAL MINING

*Karpov F.D., Gabov V.V.*

*Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg*

**Keywords:** coal, pillar, mining, selectivity, excavation module, conditions, strength.

**Abstract.** The article discusses the currently used technologies for processing coal faces in coal mining processes, their advantages and disadvantages. The factors reflecting the diversity of conditions of coal occurrence are studied. It is noted that due to the various mining and geological and technological conditions of coal occurrence, the use of intensive technologies for their development is not effective, is rarely used and leads to a decrease in the volume of recoverable reserves. To increase the completeness of coal mining, it is proposed to use selective face treatment technologies and unified technical means for chipping and cutting rocks with their help. The possibility of using shield sections of a powered support of a supporting-protective type as the basic design of an excavation module is being considered. For mining the coal massif, the use of an arrow-shaped executive body with the possibility of cyclic movement along three coordinates is discussed.

### Введение

В настоящее время при подземной добыче угля применяют способы отработки запасов длинными столбами по простиранию лавами длиной 200 – 400 метров, нарезанными по падению [1]. При использовании такой технологии отработки запасов в пределах шахтного поля формируются целики различных форм и размеров [2]. Объемы запасов в рассматриваемых участках существенно значимы в плане привлекательности их извлечения [3]. Рассматриваемые целики формируются в разное время и в разных местах шахтного поля, поэтому существенно различаются по горно-геологическим условиям их залегания, по технологическим условиям их отработки, по форме и размерам.

Отработка целиков с применением очистных механизированных комплексов, из-за их большой массы и стоимости, весьма затруднительна и экономически неэффективна. Для отработки таких участков целесообразно использовать избирательную технологию и соответствующие унифицированные технические средства [4].

Технология и технические средства, которые предполагается использовать в каждом отдельном случае, должны соответствовать конкретным горно-геологическим условиям

залегания целика, технологическим условиям его отработки и требованиям к эффективности процесса [5].

#### **Условия залегания пластов**

Основные группы факторов, определяющих многообразие условий залегания и отработки целиков, следующие:

- горно-геологические условия (ГГУ) залегания целиков;
- технологические условия отработки целиков;
- прочностные свойства угольного пласта и вмещающих пород.

К основным факторам, характеризующим горно-геологические условия, относятся: мощность, прочность и углы залегания угольного пласта и вмещающих пород; газообильность и обводненность, структура угольного пласта.

Глубина залегания характеризуется расстоянием, на котором расположены угольные пласты относительно поверхности земли. Глубина месторождений может варьироваться от неглубоких (десятки метров) до сотен или тысяч метров [6].

Газообильность шахт обусловлена выходом газа с обнажённых выработками поверхностей разрабатываемого пласта и боковых пород, из отбитых от массива полезных ископаемых и поступлением газа из выработанных пространств, куда газ выделяется из обрушающихся пород и подрабатываемых и надрабатываемых смежных пластов и пропластков полезных ископаемых.

Чаще всего под газообильностью понимают метанообильность или углекислотообильность, поскольку именно углекислый газ и метан являются наиболее распространенными газами в угольных шахтах. Газовые шахты, характеризующиеся наличием выделяющегося метана, имеют повышенный уровень опасности в процессе добычи угля.

Причиной обводнений горных выработок является наличие водоносных горизонтов, залегающих в кровле и почве угольного пласта. Сильное обводнение шахтного поля создает неблагоприятные условия для рабочих и оборудования, что негативно сказывается на процессе выемки полезного ископаемого и влечет за собой экономические затраты. В некоторых угольных месторождениях затраты на осушение шахты и на водоотлив составляют порядка 35% от конечной стоимости добываемого угля.

Еще один из факторов залегания угольного пласта – угол падения пласта (между горизонтальной плоскостью и пластом). Существует конкретная классификация угольных пластов по данному фактору залегания (табл. 1) [7].

Основным параметром угольного пласта является его мощность (толщина) – расстояние по нормали от почвы до кровли пласта. Существует классификация угольных пластов по мощности, которая представлена в таблице 2 [8].

Табл. 1. Классификация пластов по углу падения.

Горизонтальные пласты	Пологие пласты	Наклонные пласты	Крутонаклонные пласты	Крутые пласты
До 2°	2-18°	19-35°	36-55°	56-90°

Табл. 2. Классификация пластов по мощности.

Весьма тонкие пласты, м	Тонкие пласты, м	Пласты средней мощности, м	Мощные пласты, м
До 0,70	0,71-1,20	1,21-3,50	Более 3,50

К основным факторам, характеризующим технологические условия отработки целиков, следует отнести наличие действующих систем вентиляции, транспорта, водоотвода, противопожарных средств и пр. [9, 10].

Слоистость и трещиноватость угольных пластов следует отнести к основным факторам, характеризующим структуру и прочностные свойства угольного пласта и вмещающих пород.

Появление трещин может быть вызвано тектоническими сдвигами, механическими повреждениями во время разработки месторождения и выветриванием. Размеры трещин бывают, как микроскопическими, так и весьма крупными, провоцирующими разрушение пород. Обвалы и разрушения пород сопровождаются выходом метана и опасностью взрыва. Несмотря на все недостатки трещиноватость уменьшает усилия разрушения пород.

### **Применяемые технологии отработки целиков**

Целесообразность выемки целиков в конкретное время зависит от степени выполнения ими своих функций, безопасности продолжения горных работ в пределах шахтного поля и других ограничений, накладываемых общей технологией отработки запасов. Полнота извлечения угля из целиков, отработка которых актуальна, зависит от готовности предприятия к использованию освоенных технологий и технических средств [11].

В современных технологиях отработки пологих угольных пластов средней мощности чаще всего используется наиболее экономичный механический способ отделения полезного ископаемого от массива, осуществляемый очистными комбайнами, струговыми установками и конвейероструговыми агрегатами, использование которых для отработки целиков ограниченных размеров экономически нецелесообразно [12]. Разнообразие условий умножает вариативность технологических сложностей, которые необходимо решать для достижения эффективности процессов отработки целиков разнообразных форм, размеров и условий залегания.

В разнообразных горно-геологических условиях для отработки целиков ограниченных размеров целесообразно применение избирательной технологии и унифицированных выемочных средств, в частности, унифицированных выемочных модулей, обеспечивающих как избирательную обработку забоя, так и возможность селективной выемки угля из целиков, залегающих в различных условиях [13].

Отделение угля от массива современными выемочными модулями осуществляется резцами отдельными срезами толщиной до 80 мм, шириной до 150 мм, в то время как средние значения среза резцами очистных комбайнов составляют 30 мм и 50 мм соответственно [14]. Ряд известных других технологий добычи угля (гидрогенизация, газификация, гидравлическая добыча) разработаны не в достаточной степени для промышленного их использования и не могут составить конкуренцию рассматриваемому механическому способу [15].

### **Избирательная технология отработки угольных целиков**

Использование избирательной технологии подразумевает разработку способов обработки забоя с разными геометрическими параметрами и прочностными свойствами и соответствующих секционных унифицированных выемочных модулей, обеспечивающих осуществление этих технологий [16].

В качестве базовой конструкции выемочного модуля предлагается использовать щитовые секции механизированной крепи поддерживающе-оградительного типа. Выемочное устройство модуля может устанавливаться на перекрытии или основании секции крепи, или на специальной раме, опирающейся на забойный конвейер и на секции крепи [17]. Стреловидный исполнительный орган выемочного модуля может быть выполнен с корончатым исполнительным органом, близким по параметрам к исполнительным органам проходческих комбайнов, или статико-динамического скалывающего действия, обеспечивающего разрушение угольного массива в забое его циклическими перемещениями по трем координатам: по простиранию, падению и мощности пласта.

Схемы обработки забоя могут быть разными и должны разрабатываться для использования в конкретных условиях с учетом параметров скалывающих козырьков секций механизированной крепи, зарубных забойных конвейеров, осуществляющих транспортирование разрушенной массы, зачистку почвы и подрубку пласта. Для исключения выхода негабаритов размеры сколов должны быть ограничены высотой и шириной в диапазоне 100-300 мм. Отделенный от массива уголь поступает на скребковый забойный конвейер [18]. В зависимости от прочностных свойств угольного пласта и вмещающих пород, геометрических

параметров забоя и секций механизированной крепи выбираются соответствующие геометрические и прочностные параметры исполнительных органов выемочных модулей [19].

### **Универсальность избирательной технологии**

Универсальность избирательной технологии добычи угля заключается в том, что она пригодна для использования в различных условиях отработки целиков на месторождениях с разными характеристиками. Однако стоит отметить, что каждая конкретная ситуация требует индивидуального подхода и адаптации технологии под специфические условия. Универсальность избирательной технологии проявляется в ее применимости при разработке месторождений в различных горно-геологических условиях. Избирательная технология может быть реализована в различных условиях: при подземной добыче угля длинными забоями, при добыче в камерах или камерно-пилообразной разработке. Таким образом, методы добычи могут быть выбраны в зависимости от специфических условий месторождения и технологических возможностей применяемых технических средств [20].

Тем не менее, универсальность избирательной технологии добычи угля не означает, что она будет одинаково эффективной и экономически выгодной во всех случаях. При выборе метода добычи и адаптации избирательной технологии к конкретным условиям разрабатываемых месторождений следует учитывать, что применение избирательной технологии может быть более затратным, чем традиционные методы добычи, из-за сложности оборудования и технологий. Важно провести экономическую оценку и сравнение различных вариантов добычи угля для определения наиболее рационального решения. Кроме того, при выборе и адаптации избирательной технологии к конкретным условиям месторождения важно учитывать возможные экологические и социальные последствия, такие как загрязнение окружающей среды, воздействие на местные сообщества и занятость населения.

### **Заключение**

1. Отработка угольных целиков и других участков пласта разных форм и размеров в пределах шахтного поля является актуальной.

2. Избирательная технология обработки забоев способствует увеличению полноты выемки запасов, залегающих в сложных горно-геологических условиях угольных шахт.

3. Для повышения эффективности отработки запасов, находящихся в различных горно-геологических и технологических условиях, необходимо развитие избирательных технологий обработки забоя и унифицированных технических средств для их осуществления.

### **Список литературы**

1. Manchao He, Qi Wang, Qunying Wu. Innovation and future of mining rock mechanics // *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2021, pp. 1-21. DOI: 10.1016/j.jrmge.2020.11.005.
2. Габов В.В., Суан Н.В., Задков Д.А., Тхо Ч.Д. Увеличение содержания крупных фракций в добываемой массе угля комбайном с использованием парных срезов // *Записки Горного института*. – 2022. – Т. 257. – С. 764-770. – DOI 10.31897/PMI.2022.66.
3. Lv H., Cheng Z., Liu F. Study on the mechanism of a new fully mechanical mining method for extremely thick coal seam // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2021, vol.142. pp. 1-12. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2021.104788.
4. Huo Y., Song X., Sun Z., Wang Z., Li H. Evolution of mining - induced stress in fully mechanized top - coal caving under high horizontal stress // *Energy Science & Engineering*. 2020, pp. 2203-2215. DOI: 10.1002/ese3.658.
5. Позин Е.З. Сопrotивляемость углей разрушению режущими инструментами. – М.: Наука, 1972. – 240 с.
6. Deyuan Fan, Xuesheng Liu, Yunliang Tan, Lei Yan. An innovative approach for gob - side entry retaining in deep coal mines: A case study // *Energy Science and Engineering*. 2019, no.8, pp. 2321-2335. DOI: 10.1002/ese3.431.
7. Binyang Sun, Pingsong Zhang, Haifeng Lu. Study on reasonable size of coal and rock pillar in dynamic pressure roadway segment of fully mechanized face in deep shaft // *Advances in Civil Engineering*. 2020, pp. 1-10. DOI: 10.1155/2020/8822175.
8. Jinglin Wen, Husheng Li, Fuxing Jiang. Rock burst risk evaluation based on equivalent surrounding rock strength // *International Journal of Mining Science and Technology*. 2019, vol. 29, pp. 571-576. DOI: 10.1016/j.ijmst.2019.06.005.

9. Кондрашева Н.К., Киреева Е.В., Зырянова О.В. Разработка новых составов для борьбы с пылеобразованием в горнодобывающей и горнотранспортной промышленности // Записки Горного института. –2021. – Т. 248. – С. 272-280. – DOI: 10.31897/PMI.2021.2.11.
10. Yiyu Lu, Tao Gong, Binwei Xia, Bin Yu, Fei Huang. Target Stratum Determination of Surface Hydraulic Fracturing for Far Field Hard Roof Control in Underground Extra-Thick Coal Extraction: A Case Study // Rock Mechanics and Rock Engineering. 2019, vol. 52, pp. 2725-2740. DOI: 10.1007/s00603-018-1616-9.
11. Peng Kong, Lishuai Jiang, Jiaming Shu, Atsushi Sainoki, Qingbiao Wang. Effect of Fracture Heterogeneity on Rock Mass Stability in a Highly Heterogeneous Underground Roadway // Rock Mechanics and Rock Engineering. 2019, vol. 52, pp. 4547-4564. DOI: 10.1007/s00603-019-01887-5.
12. Guanwen Cheng, Tianhong Yang, Hongyuan Liu. Characteristics of stratum movement induced by downward longwall mining activities in middle-distance multi-seam // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2020. vol. 136. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2020.104517.
13. Михайлов А.В., Казаков Ю.А. Методология оценки многократной проходимости горнотранспортного агрегата по слабым грунтам // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – №8. – С. 95-110. – DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_8\_0\_95.
14. Иванов С. Л., Сафрончук К. А., Олт Ю. Обоснование и выбор конструктивных параметров зубчато-эксцентрикового механизма поршневого смазочно-заправочного агрегата для технического обслуживания горных машин // Записки Горного института. – 2021. – Т. 248. – С. 290-299. – <https://doi.org/10.31897/PMI.2021.2.13>.
15. Lishuai Jianga, Quansen Wua,b, Quanlin Wub, Pu Wang, Yanchao Xue, Peng Kong, Bin Gong. Fracture failure analysis of hard and thick key layer and its dynamic response characteristics // Engineering Failure Analysis. 2019, pp. 118-130. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2019.01.008.
16. Шишлянников Д.И., Иванов С.Л., Звонарев И.Е., Зверев В.Ю. Повышение эффективности применения выемочных и транспортирующих машин комбайновых комплексов калийных рудников // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 9. – С. 116-124. – DOI: 10.25018/0236-1493-2020-9-0-116-124.
17. Казанин О.И., Ильинец А.А. Обеспечение устойчивости выемочных выработок при подготовке выемочных участков пологих угольных пластов тремя выработками // Записки Горного института. – 2022. – Т. 253. – С. 41-48. – DOI: 10.31897/PMI.2022.1.
18. Жуков И.А., Голиков Н.С., Мартюшев Н.В. Рационализация конструкции секции скребкового конвейера средствами автоматизированного метода анализа прочностных характеристик // Устойчивое развитие горных территорий. – 2022. – №1. – С. 142-150. – [doi.org/10.21177/1998-4502-2022-14-1-142-150](https://doi.org/10.21177/1998-4502-2022-14-1-142-150).
19. Li T., Wang J., Zhang K., Zhang C. Mechanical analysis of the structure of longwall mining hydraulic support // Science Progress. 2020, vol. 130, pp. 1-21. DOI: 10.1177/0036850420936479.
20. Guangchao Zhang, Lianjun Chen, Zhijie Wen. Squeezing failure behavior of roof-coal masses in a gob-side entry driven under unstable overlying strata // Energy Science and Engineering. 2020, vol. 8, pp. 2443-2456. DOI: 10.1002/ese3.678.

### References

1. Manchao He, Qi Wang, Qunying Wu. Innovation and future of mining rock mechanics // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2021, pp. 1-21. DOI: 10.1016/j.jrmge.2020.11.005.
2. Gabov V. V., Xuan N. V., Zadkov D. A., Tho T. D. Increasing the content of coarse fractions in the mined coal mass by a combine using paired cuts // Journal of Mining Institute. 2022, vol. 257, pp. 764-770. [doi.org/10.31897/PMI.2022.66](https://doi.org/10.31897/PMI.2022.66).
3. Lv H., Cheng Z., Liu F. Study on the mechanism of a new fully mechanical mining method for extremely thick coal seam // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2021, vol.142. pp. 1-12. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2021.104788.
4. Huo Y., Song X., Sun Z., Wang Z., Li H. Evolution of mining - induced stress in fully mechanized top - coal caving under high horizontal stress // Energy Science & Engineering. 2020, pp. 2203-2215. DOI: 10.1002/ese3.658.
5. Posin E.Z. Resistance of coals to destruction by cutting tools. – М.: Science, 1972. – 240 p.
6. Deyuan Fan, Xuesheng Liu, Yunliang Tan, Lei Yan. An innovative approach for gob - side entry retaining in deep coal mines: A case study // Energy Science and Engineering. 2019, no.8, pp. 2321-2335. DOI: 10.1002/ese3.431.
7. Binyang Sun, Pingsong Zhang, Haifeng Lu. Study on reasonable size of coal and rock pillar in dynamic pressure roadway segment of fully mechanized face in deep shaft // Advances in Civil Engineering. 2020, pp. 1-10. DOI: 10.1155/2020/8822175.
8. Jinglin Wen, Husheng Li, Fuxing Jiang. Rock burst risk evaluation based on equivalent surrounding rock strength // International Journal of Mining Science and Technology. 2019, vol. 29, pp. 571-576. DOI: 10.1016/j.ijmst.2019.06.005.
9. Kondrasheva N. K., Kireeva E. V., Zyryanova O. V. Development of new compositions for dust control in the mining and mineral transportation industry // Journal of Mining Institute. 2021, vol. 248, pp. 272-280. DOI: 10.31897/PMI.2021.2.11.

10. Yiyu Lu, Tao Gong, Binwei Xia, Bin Yu, Fei Huang. Target Stratum Determination of Surface Hydraulic Fracturing for Far Field Hard Roof Control in Underground Extra-Thick Coal Extraction: A Case Study // *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2019, vol. 52, pp. 2725-2740. DOI: 10.1007/s00603-018-1616-9.
11. Peng Kong, Lishuai Jiang, Jiaming Shu, Atsushi Sainoki, Qingbiao Wang. Effect of Fracture Heterogeneity on Rock Mass Stability in a Highly Heterogeneous Underground Roadway // *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2019, vol. 52, pp. 4547-4564. DOI: 10.1007/s00603-019-01887-5.
12. Guanwen Cheng, Tianhong Yang, Hongyuan Liu. Characteristics of stratum movement induced by downward longwall mining activities in middle-distance multi-seam // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2020. vol. 136. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2020.104517.
13. Mikhailov A.V., Kazakov Yu.A. Methodology for assessing the multiple passability of a mining transport unit on soft soils // *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2022, no. 8, pp. 95-110. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_8\_0\_95.
14. Ivanov S.L., Safronchuk K.A., Olt Y. Justification and selection of design parameters of the eccentric gear mechanism of the piston lubrication and filling unit for the mining machines maintenance // *Journal of Mining Institute*. 2021, vol. 248, pp. 290-299. doi.org/10.31897/PMI.2021.2.13.
15. Lishuai Jianga, Quansen Wua,b, Quanlin Wub, Pu Wang, Yanchao Xue, Peng Kong, Bin Gong. Fracture failure analysis of hard and thick key layer and its dynamic response characteristics // *Engineering Failure Analysis*. 2019, pp. 118-130. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2019.01.008.
16. Shishlyannikov D.I., Ivanov S.L., Zvonarev I.E., Zverev V.Yu. Increasing the efficiency of using mining and transporting machines of combine complexes of potash mines // *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2020, no. 9, pp. 116-124. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-9-0-116-124.
17. 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, vol. 253, pp. 41-48. doi.org/10.31897/PMI.2022.1.
18. Zhukov I.A., Golikov N.S., Martyushev N.V. Rationalization of the design of the scraper conveyor section by means of an automated method for analyzing strength characteristics // *Sustainable development of mountain territories*. 2022, no. 1, pp. 142-150. doi.org/10.21177/1998-4502-2022-14-1-142-150.
19. Li T., Wang J., Zhang K., Zhang C. Mechanical analysis of the structure of longwall mining hydraulic support // *Science Progress*. 2020, vol. 130, pp. 1-21. DOI: 10.1177/0036850420936479.
20. Guangchao Zhang, Lianjun Chen, Zhijie Wen. Squeezing failure behavior of roof-coal masses in a gob-side entry driven under unstable overlying strata // *Energy Science and Engineering*. 2020, vol. 8, pp. 2443-2456. DOI: 10.1002/ese3.678.

*Сведения об авторах:*

*Information about authors:*

<b>Карпов Фёдор Дмитриевич</b> – аспирант	<b>Karpov Fjodor Dmitrievich</b> – postgraduate student
<b>Габов Виктор Васильевич</b> – доктор технических наук, профессор кафедры машиностроения	<b>Gabov Viktor Vasilievich</b> – doctor of technical sciences, professor of mechanical engineering Department
s225068@stud.spmi.ru	

Получена 26.05.2023