

ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ИЗБИРАТЕЛЬНОЙ ОТРАБОТКИ УГОЛЬНЫХ ЦЕЛИКОВ В ПРЕДЕЛАХ ПОЛЕЙ ДЕЙСТВУЮЩИХ ШАХТ

Карпов Ф.Д., Габов В.В., Гаращенко Ж.М.

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург

Ключевые слова: уголь, целик, прочность, локальный забой, условия, отработка целика, обработка забоя, избирательность, выемочный модуль.

Аннотация. В статье рассмотрены актуальность и целесообразность избирательной отработки угольных целиков с разными прочностными свойствами и в различных горно-геологических условиях залегания, понятие «локальный забой» и выявление возможности отработки таких целиков в пределах полей действующих шахт посредством избирательной технологии. Изучены возможности отработки нестандартных участков угольного массива унифицированными выемочными модулями, описаны наиболее распространенные механические способы отделения угля от угольного массива, их особенности и эффективность, обоснованы параметры способов отделения угля от массива с учетом структуры распределения зон прочности. Сформулированы требования к избирательной технологии отработки целиков и к техническим средствам для её осуществления. Рассмотрены особенности исполнения выемочных устройств для осуществления избирательных способов отделения угля от массива унифицированными выемочными модулями в разных горно-геологических и технологических условиях.

TECHNOLOGY AND TECHNICAL MEANS OF SELECTIVE MINING OF COAL PILLARS WITHIN THE FIELDS OF EXISTING MINES

Karpov F.D., Gabov V.V., Garashchenko Zh.M.

Saint-Petersburg Mining University of Empress Catherine II, Saint-Petersburg

Keywords: coal, pillar, strength, local face, conditions, pillar mining, face processing, selectivity, extraction module.

Abstract. The article discusses the relevance and feasibility of selective mining of coal pillars with different strength properties and in various mining and geological conditions, the concept of “local mining” and identifying the possibility of mining such pillars within the fields of existing mines through selective technology. The possibilities of mining non-standard sections of a coal mass using standardized mining modules have been studied, the most common mechanical methods for separating coal from a coal mass, their features and efficiency have been described, and the parameters of methods for separating coal from a mass have been substantiated, taking into account the structure of the distribution of strength zones. Requirements are formulated for the selective technology of pillar development and for the technical means for its implementation. The features of the design of mining devices for implementing selective methods of separating coal from the massif using unified mining modules in different mining, geological and technological conditions are considered.

Введение

В настоящее время подземная добыча угля осуществляется с использованием интенсивных технологий отработкой выемочных участков длинными столбами по простиранию и по падению пласта. Использование таких технологий сопровождается образованием в пределах шахтных полей различных целиков различных форм и размеров, для отработки которых нет апробированных унифицированных технологий. Для повышения эффективности выемки угля из таких целиков предлагаются избирательные технологии, параметры которых соответствуют параметрам целиков и условиям их залегания [1].

Избирательность технологии заключается в выборе способа отделения угля от массива (резанием, ударом, или их комбинацией) в локальном забое, места первого и последующих срезов, направления срезов, способа крепления кровли секциями механизированной крепи унифицированных выемочных модулей, в выборе средств транспорта в зависимости от горно-геологических и технологических условий залегания вынимаемого участка угольного

пласта [2]. Выбор значений параметров способа отделения угля от массива (СОУМ) осуществляется с учетом обеспечения заданных производительности модулей, гранулометрического состава добываемого угля и удельных затрат энергии.

Локальный забой

Понятие «локальный забой» используется для обозначения части очистного или проходческого забоя (локальный угольный забой, локальный очистной забой, локальный проходческий забой), который соответствует шагу расстановки секций крепи (выемочных модулей) или их группы и находится в одинаковых горно-геологических условиях в определенном месте лавы. Минимальная ширина подвигания забоя за цикл операций в локальном забое равна шагу перемещения секций механизированной крепи очистного комплекса [3]. В локальном угольном забое, как правило, используется ограниченное количество единиц однотипного оборудования.

Улучшение качества процесса выемки и гранулометрического состава добываемого угля, минимизация повышенной динамики сил резания за цикл и удельных затрат энергии зависят от значений параметров избирательной технологии и от значений параметров выемочных средств, используемых для ее осуществления. Избирательная технология предполагает, что в каждом локальном забое, отличающимся прочностью массива и размерами, будет совершаться избирательное разрушающее действие исполнительного органа выемочной машины на породный массив и осуществляться срезами/сколами определенной толщины и последовательности [4, 5].

Для применения такой технологии нужны специальные унифицированные выемочные модули, обеспечивающие выполнение всех операций цикла. Если в локальном забое предлагаемый унифицированный модуль обеспечит избирательное отделение угля от массива, то набор таких модулей обеспечит избирательную отработку угольных целиков с разнообразными параметрами и в различных горно-геологических условиях в пределах поля действующих шахт.

Способ отделения угля от массива

В горной промышленности используется ряд способов для отделения угля/породы от массива [6]. Наибольшее распространение получил механический способ – резанием исполнительными органами, оснащенными специальными рабочими инструментами, например, резцами шнековых или барабанных исполнительных органов, режущими буровыми коронками, дисковыми шарошками, которыми оснащаются исполнительные органы горных машин: комбайнов, стругов, добычных комплексов и агрегатов [7, 8]. Комбайны перемещаются вдоль забоя и разрушают слой угля, который обрушается на забойный скребковый конвейер, далее транспортируется ленточными конвейерами или в вагонах по магистральным выработкам на поверхность.

Скалывание – это процесс, при котором уголь отделяется от массива ударным способом [9]. При разрушении не крепких пород и углей непрерывное резание является наиболее эффективным способом их отделения от массива. Однако, чем прочнее породы – тем менее эффективен данный способ. Кроме того, разрушение сложных массивов повышенной прочности резанием не эффективно из-за высокой интенсивности изнашивания рабочего инструмента. В таких случаях заглабление резца в массив достигается ударным способом. Внедрение резца в массив ударным способом более эффективно, нежели непрерывным приложением силы. Но при ударном способе отделения угля от массива энергия удара и действующая на угольный массив сила могут быть довольно значительными, что, при наличии твердых включений, может приводить к искрообразованию и опасности взрыва.

Вышеперечисленные методы отделения угля от массива обеспечивают достаточно высокую интенсивность работ, однако их эффективность зависит от прочностных свойств угля и от горно-геологических и технологических условий залегания пласта [10]. Так или иначе, такие методы широко используются для отделения от массива угля, каменной соли и

других полезных ископаемых, и дальнейшего их транспортирования на поверхность для дальнейшей переработки и использованию по целевому назначению.

Требования к технологиям и техническим средствам для избирательного отделения угля от массива

Рассмотрим ряд требований к технологиям и к техническим средствам отработки угольных целиков, которые зависят от горно-геологических и технологических условий залегания угольного пласта, его прочностных свойств, от расположения и размеров разрабатываемых участков.

К основным требованиям к технологиям выемки угля из целиков следует отнести:

- возможность использования опыта отделения угля от массива при проведении выработок и при добыче угля в очистных забоях;
- общедоступность использования технологических систем (водоотвод, вентиляция, транспортные средства);
- допустимость отработки угольных целиков одновременно с отработкой основных запасов, не ограничивая интенсивность отработки последних;
- соответствие действующим правилам безопасности.

Основные требования к техническим средствам для осуществления этих технологий:

- способность технических средств к адаптации к переменным, по мере отработки запасов, условиям;
- простота в эксплуатации (монтаже, демонтаже, техническом обслуживании и ремонтах);
- совместимость при одновременном использовании с другим оборудованием шахты;
- технические средства отделения угля от массива (выемочные по исполнению модули) должны быть унифицированными.

Унифицированные выемочные модули

Рассматривая особенности СОУМ, следует отметить, что, принимая значения параметров способов и соответствующих технических средств для их осуществления, можно осуществить множество способов отделения угля от массива и корректировать их для различных условий. Несмотря на то, что некоторые способы давно известны, широкого применения они не нашли [11, 12].

Целесообразно при отработке целиков применять СОУМ с учетом заданной интенсивности процесса выемки, горно-геологических условий залегания пласта, их места нахождения в шахтном поле, поскольку участки могут быть осложненными (водообильность, нарушение структуры пород кровли или почвы). Игнорирование вышеперечисленных особенностей может привести к аварийной ситуации, к потере забоя или всей шахты [13].

Фронтальные СОУМ ранее применялись для опережающего проведения ниш при комбайновых и струговых технологиях выемки полезного ископаемого, при проведении монтажных камер и других выработок [14]. Выемочные устройства, которые осуществляют избирательные СОУМ, целесообразно выполнять в виде унифицированных выемочных модулей (УВМ) с возможностью использования исполнительных органов с разными способами разрушения массивов в соответствии с их прочностью, чтобы в дальнейшем комплектовать ими проходческие и очистные фронтальные комплексы для других горно-геологических условий.

Иными словами, выемочные устройства могут представлять собой унифицированные выемочные модули, простым последовательным набором которых с подключением к общим магистралям энергопитания, управления, приема, переработки и использования информации, могут быть скомплектованы проходческие и очистные комплекты и комплексы избирательного действия для отработки целиков в различных горно-геологических и технологических условиях [15]. В таком случае выемочные модули становятся совместно с механизированной крепью и транспортными устройствами основным оборудованием очистных и проходческих комплектов и комплексов, способных осуществлять

избирательную отработку целиков и других угольных участков, в том числе целиков нестандартных форм и размеров.

Эффективность способа отделения угля от массива зависит от прочностных свойств массива, значений параметров операций цикла, согласованности работы выемочных устройств, секций механизированной крепи и транспортного оборудования [16]. Прочностные свойства угольного массива необходимо учитывать при разработке СОУМ в зависимости от схемы взаимодействия исполнительных органов выемочных средств с такими массивами.

На разных обрабатываемых участках возможны различия в прочностных свойствах угольных пластов. Это связано с вариациями в структуре вмещающих угольный пласт пород, распределении напряжений в зависимости от глубины залегания пласта и угла его падения, а также изменениями в структуре угольных пластов и вмещающих массивов по длине обрабатываемых столбов [17].

Стоит отметить, что до настоящего времени недостаточно изучены и проработаны особенности механического отделения угля от массивов в зависимости от разнообразных условий, например, наличия кососекущей и нормальных к слоистости систем трещиноватости [18].

Для повышения эффективности добычи угля выемочными машинами в условиях переменных прочностных свойств угольных пластов необходимо обосновывать параметры СОУМ с учетом зонной структуры распределения зон прочности:

- определять протяженность таких зон по длине лавы;
- устанавливать параметры срезов и их последовательность в соответствии со структурой пласта;
- корректировать способы обработки забоя по мере отработки столба с учетом изменения прочностных параметров зон;
- корректировать режимы работы выемочных машин в зависимости от физико-механических свойств пласта в различных зонах [19, 20].

Современные технологии добычи угля не ориентированы на обеспечение избирательности обработки угольных забоев, адаптивности параметров среза (скорость резания, толщина среза, направление среза) и режимов резания под меняющиеся условия и зональную структуру пластов с различными физико-механическими свойствами. Кроме того, технология отработки угольных целиков в пределах шахтного поля и технические средства для ее осуществления должны соответствовать горно-геологическим и технологическим условиям залегания угольного пласта. Необходимо детальнее изучать процесс выемки угля унифицированными выемочными модулями с учетом трещиноватой, слоистой его структуры и переменных значений параметров прочности разрабатываемого угольного пласта.

Заключение

1. Угольные целики с переменными значениями их геометрических и прочностных параметров следует обрабатывать с использованием избирательной технологии, обеспечивающей рациональные значения параметров среза и рациональные схемы обработки забоев в целом.

2. Избирательная технология обработки массива забоя и отработки угольных целиков в шахтных условиях структурно, технологически и технически может быть обеспечена унифицированными выемочными модулями, их комплектами и комплексами.

Список литературы

1. Mingzhong Gao, Jing Xie, Yanan Gao, Wenyong Wang, Cong Li, Bengao Yang, Junjun Liu, Heping Xie. Mechanical behavior of coal under different mining rates: A case study from laboratory experiments to field testing // International journal of mining science and technology. 2021, vol. 31, iss. 5, pp. 825-841. DOI: 10.1016/j.ijmst.2021.06.007.
2. James C. Hower, Robert B. Finkelman, Cortland F. Eble, Barbara J. Arnold. Understanding coal quality and the critical importance of comprehensive coal analyses // International journal of coal geology. 2022, vol. 263, p. 104120. DOI: 10.1016/j.coal.2022.104120.

3. 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, vol. 8, iss. 6, pp. 2203-2215. DOI: 10.1002/ese3.658.
4. Карпов Ф.Д., Габов В.В. Актуальность и область рационального использования избирательной обработки забоя при добыче угля // *Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство*. – 2023. – № 20. – С. 177-182. – DOI: 10.26160/2658-3305-2023-20-177-182.
5. 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, p. 104517. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2020.104517.
6. 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.
7. Позин Е.З. Сопrotивляемость углей разрушению режущими инструментами. – М.: Наука, 1972. – 240 с.
8. 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.
9. Li T., Wang J., Zhang K., Zhang C. Mechanical analysis of the structure of longwall mining hydraulic support // *Science Progress*. 2020, vol. 130(3). DOI: 10.1177/0036850420936479.
10. 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.
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. 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, vol. 98, pp. 118-130. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2019.01.008.
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. – doi.org/10.31897/PMI.2021.2.13.
15. 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, iss. 4, pp. 571-576. DOI: 10.1016/j.ijmst.2019.06.005.
16. Yang S., Song G., Kong D. An evaluation of longwall face stability in thick coal seams through a basic understanding of shield-strata interaction // *Journal of Geophysics and Engineering*. 2019, vol. 16, iss. 1, pp. 125-135. DOI: 10.1093/jge/gxy011.
17. Rui Gao, Bin Yu, Xiangbin Meng. Stress distribution and surrounding rock control of mining near to the overlying coal pillar in the working face // *International Journal of Mining Science and Technology*. 2019, vol. 29, iss. 6, pp. 881-887. DOI: 10.1016/j.ijmst.2018.07.003.
18. 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, p. 104788. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2021.104788.
19. Paul A., Murthy V.M.S.R., Prakash A., Singh A.K. Estimation of rock load for junctions based on roof failure cases for safe mining operation // *Arabian Journal of Geosciences*. 2020, vol. 13, p. 1069. DOI: 10.1007/s12517-020-06045-8.
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, iss. 7, pp. 2443-2456. DOI: 10.1002/ese3.678.

References

1. Mingzhong Gao, Jing Xie, Yanan Gao, Wenyong Wang, Cong Li, Bengao Yang, Junjun Liu, Heping Xie. Mechanical behavior of coal under different mining rates: A case study from laboratory experiments to field testing // *International journal of mining science and technology*. 2021, vol. 31, iss. 5, pp. 825-841. DOI: 10.1016/j.ijmst.2021.06.007.
2. James C. Hower, Robert B. Finkelman, Cortland F. Eble, Barbara J. Arnold. Understanding coal quality and the critical importance of comprehensive coal analyses // *International journal of coal geology*. 2022, vol. 263, p. 104120. DOI: 10.1016/j.coal.2022.104120.

3. 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, vol. 8, iss. 6, pp. 2203-2215. DOI: 10.1002/ese3.658.
4. Karpov F.D., Gabov V.V. Relevance and area of rational use of selective face treatment in coal mining // *Transport, mining and construction engineering: science and production*. 2023, no. 20, pp. 177-182. DOI: 10.26160/2658-3305-2023-20-177-182.
5. 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, p. 104517. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2020.104517.
6. 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.
7. Posin E.Z. Resistance of coals to destruction by cutting tools. – M.: Science, 1972. – 240 p.
8. 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.
9. Li T., Wang J., Zhang K., Zhang C. Mechanical analysis of the structure of longwall mining hydraulic support // *Science Progress*. 2020, vol. 130(3). DOI: 10.1177/0036850420936479.
10. 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.
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. 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, vol. 98, pp. 118-130. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2019.01.008.
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. 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, iss. 4, pp. 571-576. DOI: 10.1016/j.ijmst.2019.06.005.
16. Yang S., Song G., Kong D. An evaluation of longwall face stability in thick coal seams through a basic understanding of shield-strata interaction // *Journal of Geophysics and Engineering*. 2019, vol. 16, iss. 1, pp. 125-135. DOI: 10.1093/jge/gxy011.
17. Rui Gao, Bin Yu, Xiangbin Meng. Stress distribution and surrounding rock control of mining near to the overlying coal pillar in the working face // *International Journal of Mining Science and Technology*. 2019, vol. 29, iss. 6, pp. 881-887. DOI: 10.1016/j.ijmst.2018.07.003.
18. 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, p. 104788. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2021.104788.
19. Paul A., Murthy V.M.S.R., Prakash A., Singh A.K. Estimation of rock load for junctions based on roof failure cases for safe mining operation // *Arabian Journal of Geosciences*. 2020, vol. 13, p. 1069. DOI: 10.1007/s12517-020-06045-8.
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, iss. 7, pp. 2443-2456. DOI: 10.1002/ese3.678.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Карпов Фёдор Дмитриевич – аспирант	Karpov Fjodor Dmitrievich – postgraduate student
Габов Виктор Васильевич – доктор технических наук, профессор кафедры машиностроения	Gabov Viktor Vasilievich – doctor of technical sciences, professor of mechanical Engineering Department
Гарашенко Жанна Максимовна – аспирант	Garashchenko Zhanna Maksimovna – postgraduate student
s225068@stud.spmi.ru	

Получена 10.04.2024