

С.Н. Решетняк, Ю.М. Максименко

АНАЛИЗ МАТЕРИАЛОВ УПРОЧНЕНИЯ НАРУШЕННЫХ УЧАСТКОВ УГЛЕПОРОДНОГО МАССИВА ПРИ ВЕДЕНИИ ВЫЕМОЧНЫХ РАБОТ

Аннотация. К факторам, замедляющим развитие горнодобывающей промышленности, относятся значительное снижение стоимости угля на мировом рынке и увеличение глубины горных работ. Ввиду того, что с увеличением глубины горных работ происходит деформация пород горного массива, причем интенсивность деформации вмещающих пород происходит со значительным опережением роста глубины разработки, необходимо рассмотреть ряд материалов для упрочнения нарушенных участков углепородного массива при ведении подземных выемочных работ. Упрочнение углепородного массива осуществляется путем нагнетания раствора в массив с помощью инъекционного насоса. Целью данной технологической операции является повышение несущей способности пород кровли, уменьшение расслоения пород, обеспечение снижения газовыделения, обеспечение снижения водопритока в лаве. Представлены технические характеристики ряда синтетических смол, которые для этого используются. При выборе материала для упрочнения нарушенных участков углепородного массива необходимо учитывать его пожароопасные свойства. Данный аспект достаточно актуален для угольных пластов, склонных к самовозгоранию. Поставлена задача по исследованию материалов упрочнения нарушенных участков углепородного массива по степени горючести и ряд других показателей пожарной опасности.

Ключевые слова: выемочный участок, угольная шахта, химическое упрочнение, смола, повышение эффективности, углепородный массив, нарушенный участок массива.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-11-0-39-45

Введение

Современное угледобывающее предприятие — это сложная динамическая модель, эффективная работа которой зависит от ряда факторов технической и технологической направленности. В настоящее время угольная отрасль Российской Федерации находится в достаточно сложных макроэкономических условиях. Это обусловлено тем, что рынок углеводородов снизился на достаточно большой процент стоимости, в частности по углю (в 2014 г. стоимость тонны угля на товарно-сырьевой бирже составляла 140 долл., в 2017 г. стоимость тонны угля на бирже составляет порядка 70 долл.) [1]. Однако Российская Федерация на-

ходится на 6 месте по величине производства угля в мире (после Китая, США, Индии, Австралии, Индонезии), что дает возможность к техническому и технологическому перевооружению добычи угля, с целью снижения себестоимости добычи угля.

Следует отметить, что в настоящее время достаточно динамично развиваются исследования по современным технологиям добыче и переработке угля в Китае, ряд исследований представлены в следующих работах [2–4].

В России также ведутся ряд исследований по построению многофункциональной системы контроля технологических процессов при ведении подземных

горных работ [5]. Ведущим предприятием по внедрению такой системы на угольных шахтах является компания АО «СУЭК-Кузбасс». Комплексный подход к построению такой системы позволяет объединить технологические параметры лавы, основного оборудования, систему мониторинга аэрогазового контроля и телеметрическую систему в единое информационное пространство угольной шахты.

Применение такого технологического подхода позволит в существенно повысить технико-экономические показатели и снизить уровень геотехнологических рисков при добыче угля подземным способом. Помимо технического перевооружения угольных шахт за счет использования современного высокопроизводительного оборудования комплексной механизации и автоматизации, необходимо производить и совершенствование технологий разработки высокопроизводительных выемочных участков.

Анализ коэффициента машинного времени выемочного комбайна показал, что данный коэффициент лежит в пределах 0,3–0,4 [6, 7]. Это обусловлено рядом факторов технологической и управленческой направленности, поэтому для обеспечения технологичности, эффективности и безопасности в условиях высокопроизводительных угольных участков необходимо повысить уровень управления геомеханическими и геодинамическими процессами в лаве.

Одним из способов повышения эффективности выемочных работ в зоне нарушенных участков угольных пластов является технология упрочнения горного массива [8]. Данная технология позволяет повысить несущую способность пород кровли, уменьшить расслоение пород, обеспечить снижение газовыделения, обеспечить снижение водопритока в лаве. Поэтому анализ методов упрочнения нарушенных участков углепородного мас-

сива при ведении выемочных работ является актуальной задачей.

Основная часть

В связи с увеличением глубины горных работ происходит деформация пород горного массива, что является следствием изменения напряженного состояния горного массива. Следует отметить, что интенсивность деформации вмещающих пород происходит со значительным опережением роста глубины разработки [9]. Эти деформации в значительной степени усложняют ведение горных работ, что сказывается на производительности выемочного участка поэтому отсутствие обоснованного планирования горных работ на нарушенных участках углепородного массива приводит к невыполнению проектных показателей работы шахты в целом.

Решение представленной задачи возможно по двум направлениям: первое — изменение параметров ведения горных работ, что в значительной степени может сказаться на производительности выемочного участка и себестоимости добычи угля; второе — искусственное упрочнение горного массива.

В отечественной и зарубежной практике применялись следующие технологии упрочнения углепородного массива:

- цементация (использование цемента в качестве связывающего компонента);
- силикатизация (использование песка в качестве связывающего компонента);
- глинизация (использование глины в качестве связывающего компонента);
- битумизация (использование битума в качестве связывающего компонента);
- замораживание углепородного массива;
- торкретирование (использование бетона в качестве связывающего компонента);
- другие способы укрепления.

Таблица 1

Технические характеристики полиуретановой смолы «Вилкит-Е»
Specifications of polyurethane resin VILKIT-E

Наименование	Показатель
Начало реакции компонентов после перемешивания, с	70–80
Продолжительность реакции, мин	10–15
Температура реакции, °С	90
Предел прочности на сжатие, МПа	60
Предел прочности на растяжение, МПа	3,5

Следует отметить, что в ряде случаев находит применение способ укрепления углеродного массива растворами синтетических смол [10, 11]. Этот способ основан на способности растворов синтетических смол под действием отвердителей, образовывать прочные водонепроницаемые соединения, которые свя-

зывают породы в сплошной углеродный монолитный массив.

Существует ряд синтетических смол, предназначенных для упрочнения углеродных массивов. Наибольшее распространение получили полиуретановые и органоминеральные смолы «Вилкит-Е», «Геофлекс» компании «CarboTex Fosroc

Таблица 2

Технические характеристики двухкомпонентной синтетической смолы Bevedol WFA — Bevedan
Specifications of two-component synthetic resin Bevedol WFA–Bevedan

Плотность при +25 °С, кг/м ³	Bevedol WFA		1010±30
	Bevedan		1230±30
Цвет	Bevedol WFA		медовый
	Bevedan		темно-коричневый
Вязкость, мПа · с	при +10 °С	Bevedol WFA	725±70
		Bevedan	820±150
	при +15 °С	Bevedol WFA	470±50
		Bevedan	500±100
Время начала полимеризации при отсутствии контакта с водой, мин	при +10 °С		0'43»±5"
	при +15 °С		0'33»±5"
Время полимеризации при контакте с водой, мин	при +10 °С	начало вспенивания	1'20»±30"
		окончание вспенивания	1'40»±30"
	при +15 °С	начало вспенивания	0'45»±10"
		окончание вспенивания	1'10»±20"
Фактор вспенивания по объему	при +10 °С		2–12
	при +15 °С		2–20
Соотношение компонентов по объему	1 : 1		
Температура применения	от 0 до +40 °С		

Таблица 3

Технические характеристики органоминеральной смолы «Геофлекс», часть 1
Specifications of organic–mineral resin Geoflex, Part 1

Параметр	Размерность	Компонент А	Компонент В	Стандарт
Плотность при 25 °С	кг/м ³	1480±30	1140±30	DIN 12 791
Цвет		бесцветный	густо-коричневый	
Вязкость при 25 °С	МПас*с	260±40	150±30	ISO 3219
Температура вспышки °С	нет	>200	DIN 53 213	

GmbH» Германия, а также двухкомпонентная синтетическая смола Bevedol WFA — Bevedan компании «Minova Carbo Tex GmbH» Германия.

Технические характеристики полиуретановой смолы «Вилкит-Е» представлены в табл. 1. Технические характеристики двухкомпонентной смолы Bevedol WFA — Bevedan представлены в табл. 2. Технические характеристики органо-минеральной смолы «Геофлекс» — в табл. 3 и табл. 4.

Технология упрочнения углепородного массива осуществляется с помощью инъекционного насоса с гидравлическим приводом, подключающимся к гидросистеме комплекса, который предназначен для перекачивания под высоким давлением синтетических смол [12, 13]. Работы по упрочнению нарушенной зоны включает в себя бурение шпуров определенной длины в верхнюю пачку пласта перпендикулярно линии очистного забоя с наклоном 15–20° в сторону кровли пласта через каждые 2,5–3,0 м. После чего в каждый шпур вставляется

пластиковая трубка, в которую под давлением, с помощью инъекционного насоса, нагнетается синтетическая смола. После затвердевания смолы пластиковая трубка остается в углепородном массиве для увеличения упрочнения нарушенных участков призабойной части угольного пласта.

Оперативность достигается за счет заблаговременного подготовки необходимого оборудования и материалов, хранящихся в непосредственной близости к участку по добыче.

Следует отметить, что технология обработки углепородного массива нашла достаточно широкое применение на угольных шахтах России и других стран.

Однако, при применении данной технологии, несмотря на все ее преимущества, требуется дополнительное исследование пожароопасных свойств синтетических материалов применяемых для упрочнения нарушенных участков углепородного массива [14].

Большое количество синтетических материалов, применяемых для техноло-

Таблица 4

Технические характеристики органоминеральной смолы «Геофлекс», часть 2
Specifications of organic–mineral resin Geoflex, Part 2

Наименование	Показатель
Время начала реакции при температуре 25 °С	2'00"±30"
Время окончания реакции при температуре 25 °С	3'45"±35"
Температура реакции, °С	98
Фактор вспенивания	1
Конечное состояние	эластичное

гии упрочнения нарушенных участков углепородного массива, особенно для угольных пластов склонных к самовозгоранию, обладают достаточной пожароопасностью.

Данный процесс протекает со значительным выделением токсичных веществ, аэрозолей и дыма, поэтому для выбора материала необходимо провести исследование по степени горючести и ряд других показателей пожароопасных свойств.

Заключение

Анализ материалов для оперативного упрочнения нарушенных участков углепородного массива при ведении выемочных работ позволит определить оптимальный материал, для конкретных условий выемочного участка. Это позволит значительно улучшить состояние призабойного участка горного массива, тем самым повысить эффективность и безопасность ведения горных работ в нарушенных участках углепородного массива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кубрин С. С. Решетняк С. Н. Копылов К. Н. Энергоэффективное операционное управление очистным участком // Известия вузов. Горный журнал. — 2016. — № 5. — С. 4–10.
2. Shi L., Liu Y., Wang S. Overburden Failure Height and Fissure Evolution Characteristics of Deep Buried, Extra Thick Coal Seam and Fully-Mechanized Caving Mining of China / Proceedings of the 2015 International Conference on Water Resources and Environment (Beijing, 25–28 July 2015), 2015, pp. 207–216.
3. Yu H., Kong L., Niu Z., Zhu S., Jing D. Numerical Simulation of Bolt-Mesh-Anchor Support Technology at Soft Rock Roadway. Advanced Materials Research, 868, 2013, pp. 251–254.
4. Garg P., Jaiswal A. Estimation of Modulus of the Caved Rock for Underground Coal Mines by Back Analysis using Numerical Modelling // Journal of The Institution of Engineers (India), 2015, pp. 1–5.
5. Ютяев Е. П. Обеспечение безопасности при интенсивной разработке пластов на шахтах ОАО «СУЭК-Кузбасс» // Горная промышленность. — 2015. — № 1 (119). — С. 18.
6. Черняк И. Л., Ярунин С. А. Управление состоянием массива горных пород. — М.: Недра, 1995. — С. 395.
7. Захаров В. Н., Забурдяев В. С., Артемьев В. Б. Углепородные массивы: прогноз устойчивости, риски, безопасность. — М.: Изд-во «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2013. — 280 с.
8. Решетов А. В., Коновалов Л. И., Артемьев Н. П. Опыт упрочнения неустойчивого угольного забоя // Уголь. — 1990. — № 1. — С. 47–48.
9. Демин В. Ф., Портнов В. С., Мусин Р. А., Маусымбаева А. Д., Демин В. В. Анкерное крепление горных выработок для повышения устойчивости углепородного массива // Уголь. — 2013. — № 11. — С. 70–73.
10. Золотых С. С., Красюк Н. Н., Максименко Ю. М. Технология отработки нарушенных участков выемочных полей с оперативным химическим упрочнением углепородного массива // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2003. — № 1. — С. 165–169.
11. Красюк Н. Н., Максименко Ю. М., Решетов С. Е., Занкин Н. В. Технология изолирования отработанных участков закрываемых шахт от действующих горных выработок // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2003. — № 2. — С. 10–13.
12. Чубриков А. В., Марков А. С., Хрипков В. В. Технология упрочнения зон нарушения полимерной смолой для сохранения высоких нагрузок на очистной забой // Уголь. — 2005. — № 5. — С. 44–49.
13. Климчук И. В., Чубриков А. В. Опыт упрочнения нарушенных участков угольных пластов органоминеральной смолой Вилкит-Е в Кузбассе // Глюкауф. — 2003. — май № 1(2). — С. 12–16.
14. Уварова В. А. Исследование пожароопасных свойств полимерных материалов, применяемых для крепления горных выработок // Горные науки и технологии. — 2014. — № 3. — С. 149–153. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Решетняк Сергей Николаевич¹ — кандидат технических наук, доцент; старший научный сотрудник, ИПКОН РАН, e-mail: reshetniak@inbox.ru, Максименко Юрий Михайлович¹ — кандидат технических наук, доцент, ¹ НИТУ «МИСиС».

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2018. No. 11, pp. 39–45.

Reinforcement materials for damaged zones in coal–rock mass under mining

Reshetnyak S.N.¹, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Senior Researcher, e-mail: reshetniak@inbox.ru, Institute of Problems of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, 111020, Moscow, Russia, Maksimenko Yu.M.¹, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, ¹ National University of Science and Technology «MISIS», 119049, Moscow, Russia.

Abstract. The factors decelerating advancement in the coal mining industry are the drop of coal price on the world market and the increase in the mining depth. Under mining at deeper levels, rock mass undergoes extensive deformation, and the increment in the rate of deformation greatly exceeds the increase in the mining depth. In this connection, it is necessary to analyze available reinforcement materials for damaged coal–rock mass areas in the course of mining. Coal–rock mass reinforcement can use injection of different solutions by pumps. This process is aimed to improve load-bearing capacity of roof rocks, decrease schistosity as well as to reduce gas release and water inflow in longwalls. To this effect, synthetic resins can be used, and specifications of some of them are given in the article. An important factor that should be taken into account when selecting materials for damaged area reinforcement in coal–rock mass is the risk of fire. This aspect is of particular concern in ignitable coal seams. The article sets an urgent objective to analyze reinforcement materials for damaged zones in coal–rock mass with respect to degree of flammability and some other fire-hazardous properties. The analysis of reinforcement materials for damaged areas in coal–rock mass in the course of mining will identify the optimal material for the improvement of face zone conditions and, thereby, will enable enhancement of safety and efficiency of mining in damaged zones of coal–rock mass.

Key words: longwall, coal mine, chemical reinforcement, resin, efficiency improvement, coal–rock mass, damaged zone.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-11-0-39-45

REFERENCES

1. Kubrin S.S. Reshetnyak S.N. Kopylov K.N. Energoeffektivnoe operatsionnoe upravlenie ochistnym uchastkom [Energy-efficient longwall operation control], *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal*. 2016, no 5, pp. 4–10. [In Russ].
2. Shi L., Liu Y., Wang S. Overburden Failure Height and Fissure Evolution Characteristics of Deep Buried, Extra Thick Coal Seam and Fully-Mechanized Caving Mining of China. *Proceedings of the 2015 International Conference on Water Resources and Environment* (Beijing, 25–28 July 2015), 2015, pp. 207–216.
3. Yu H., Kong L., Niu Z., Zhu S., Jing D. Numerical Simulation of Bolt-Mesh-Anchor Support Technology at Soft Rock Roadway. *Advanced Materials Research*, 868, 2013, pp. 251–254.
4. Garg P., Jaiswal A. Estimation of Modulus of the Caved Rock for Underground Coal Mines by Back Analysis using Numerical Modelling, *Journal of The Institution of Engineers (India)*, 2015, pp. 1–5.
5. Yutyaev E. P. Obespechenie bezopasnosti pri intensivnoy razrabotke plastov na shakhtakh OAO «SUEK-Kuzbass» [Safety of high-rate coal extraction in mines of SUEK-Kuzbass], *Gornaya promyshlennost'*. 2015, no 1 (119), pp. 18. [In Russ].
6. Chernyak I. L., Yarinin S.A. *Upravlenie sostoyaniem massiva gornyx porod* [Ground control], Moscow, Nedra, 1995, pp. 395.
7. Zakharov V.N., Zaboruyaev V.S., Artem'ev V.B. *Ugleporodnye massivy: prognoz ustoychivosti, riski, bezopasnost'* [Coal–rock mass: Stability prediction, risks, safety], Moscow, Izd-vo «Gornoe delo» OOO «Kimmeriyskiy tsentr», 2013, 280 p.
8. Reshetov A. V., Konovalov L. I., Artem'ev N. P. Opyt uprochneniya neustoychivogo ugol'nogo zaboya [Experience of reinforcement of unstable coal face], *Ugol'*. 1990, no 1, pp. 47–48. [In Russ].

9. Demin V. F., Portnov V. S., Musin R. A., Mausymbaeva A. D., Demin V. V. Ankernoe kreplenie gornyykh vyrabotok dlya povysheniya ustoychivosti ugleporodnogo massiva [Roof bolting in underground roadways for improving stability of coal-rock mass], *Ugol'*. 2013, no 11, pp. 70–73. [In Russ].

10. Zolotykh S. S., Krasnyuk N. N., Maksimenko Yu. M. Tekhnologiya otrabotki narushennykh uchastkakh vyechnyykh poley s operativnym khimicheskim uprochneniem ugleporodnogo massiva [Mining technology for damaged areas in coal-rock mass with operational chemical reinforcement], *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2003, no 1, pp. 165–169. [In Russ].

11. Krasnyuk N. N., Maksimenko Yu. M., Reshetov S. E., Zankin N. V. Tekhnologiya izolirovaniya otrabotannykh uchastkov zakryvaemykh shakht ot deystvuyushchikh gornyykh vyrabotok [Technology of isolation of mined-out openings of closed mines from operating roadways], *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2003, no 2, pp. 10–13. [In Russ].

12. Chubrikov A. V., Markov A. S., Khripkov V. V. Tekhnologiya uprochneniya zon narusheniya polimernoy smoly dlya sokhraneniya vysokikh nagruzok na ochistnoy zaboy [Technology of damaged zone reinforcement by polymeric resin towards sustainable high face output], *Ugol'*. 2005, no 5, pp. 44–49. [In Russ].

13. Klimchuk I. V., Chubrikov A. V. Opyt uprochneniya narushennykh uchastkov ugol'nykh plastov organomineral'noy smoloy Vilkit-E v Kuzbasse [Experience of damaged coal reinforcement by organic-mineral resin VILKIT-E in Kusbass], *Glyukauf*, 2003, May no 1(2), pp. 12–16.

14. Uvarova V. A. Issledovanie pozharoопасnykh svoystv polimernyykh materialov, primenyaemykh dlya krepleniya gornyykh vyrabotok [Study of fire-hazardous properties of polymeric materials used for roadway support], *Gornye nauki i tekhnologii*. 2014, no 3, pp. 149–153. [In Russ].



ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

ОБОСНОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ И КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ С ПРОСТРАНСТВЕННОЙ КРИВОЛИНЕЙНОЙ ТРАССОЙ (2018, № 6, СБ 30, 16 с.)

Галкин В.И. — доктор технических наук, профессор, e-mail: Vgalkin07@rambler.ru,

Теняков А.Н. — аспирант, e-mail: TenyakovAN@alrosa.ru,

МГИ НИТУ «МИСиС».

Определены теоретические площади сечений транспортируемого груза на прямолинейном и криволинейном участках трассы конвейера, с учетом критических замечаний в ранее выполненных работах. Установлено, что для снижения потери производительности ленточного конвейера с криволинейным участком, по сравнению с прямолинейным конвейером, выгодно использовать роликоопоры с укороченным средним роликом и повышенными углами наклона боковых роликов, которые описаны в работе. Рассмотрены условия устойчивости против бокового схода порожней ленты на пространственном криволинейном участке трассы конвейера в виде винтовой линии. Полученные уравнения показывают, что соотношение длин среднего и боковых роликов, угол наклона боковых роликов и угол наклона конвейера практически не влияют на устойчивость порожней ленты против бокового схода. Установлено, что на криволинейном участке трассы грузной ветви ленты наиболее опасным, в плане устойчивости ленты против ее бокового схода, является начало криволинейного участка, когда форма поперечного сечения груза на ленте еще остается такой, какой на была на предшествующем прямолинейном участке.

SUBSTANTIATION OF OPERATIONAL AND DESIGN PARAMETERS OF BELT CONVEYORS WITH SPATIAL CURVILINEAR ROUTE

Galkin V.I.¹, Doctor of technical Sciences, Professor, Vgalkin07@rambler.ru,

Tenyakov A.N.¹, Department of Hatim, TenyakovAN@alrosa.ru,

¹ Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS», 119049, Moscow, Russia.

The theoretical areas of sections of the transported cargo on the straight and curved sections of the conveyor route are determined, taking into account critical remarks in the previously performed works. It is established that to reduce the loss of performance of the belt conveyor with a curved section, compared with a straight conveyor, it is advantageous to use roller supports with a shortened middle roller and increased angles of inclination of the side rollers, which are described in the work. The conditions of stability against the lateral descent of the empty belt on the spatial curvilinear section of the conveyor route in the form of a helix are considered. The resulting equations show that the ratio of the lengths of the middle and side rollers, the angle of inclination of the side rollers and the angle of the pipeline practically does not affect the stability of the empty tape against the side of the gathering. It is established that the curved part of the track Laden branches of the tape the most dangerous in terms of stability of the tape against the side of the gathering, is the beginning of the curved portion, when the cross-sectional shape of the cargo on the tape remains such what was at the previous straight portion.