

Совершенствование технологии анкерного крепления приконтурного массива при проведении горных выработок на угольных шахтах

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-9-56-60>

ДЕМИН В.Ф.

Доктор техн. наук,
профессор КарТУ им. А. Сагинова,
100027, г. Караганда, Республика Казахстан,
e-mail: vladfdemin@mail.ru

АЛИЕВ С.Б.

Академик НАН РК,
доктор техн. наук, профессор,
старший научный сотрудник ИПКОН РАН,
111020, г. Москва, Россия,
e-mail: alsamat@gmail.com

ЮСУПОВ Х.А.

Член-кор. НАН РК,
доктор техн. наук,
профессор КазНИТУ им. К. Сатпаева,
050046, г. Алматы, Республика Казахстан,
e-mail: k.yussupov@satbayev.university

ДОЛГОНОСОВ В.Н.

Доктор техн. наук,
профессор КарТУ им. А. Сагинова,
100027, г. Караганда, Республика Казахстан,
e-mail: vnd070765@mail.ru

ПОРТНОВ В.С.

Доктор техн. наук,
профессор КарТУ им. А. Сагинова,
100027, г. Караганда, Республика Казахстан,
e-mail: vs_portnov@mail.ru

ОЖИГИН С.Г.

Доктор техн. наук,
профессор КарТУ им. А. Сагинова,
100027, г. Караганда, Республика Казахстан,
e-mail: osgb2@mail.ru

При поддержании выработок в процессе эксплуатации проводятся работы по устранению последствий пучения пород почвы, возникающего при пластических деформациях с выдавливанием пород почвы в полость выработки под действием контурного горного давления.

Выявленные закономерности изменения напряженно-деформированного состояния углепородных массивов (смещений, напряжений, зон трещинообразования) в зависимости от основных горно-геологических и горнотехнических факторов позволили установить оптимальные параметры крепления пород почвы и разработать технологические схемы крепления, позволяющие значительно уменьшить проявления пучения пород почвы горных выработок. Разработана и апробирована на шахтах Карагандинского угольного бассейна технология анкерного крепления приконтурных пород при проведении горных выработок на пологих и наклонных угольных пластах.

Ключевые слова: подземные горные выработки, напряжения, деформации, параметры крепления, геомеханические процессы, анкерная крепь, технологические схемы крепления, устойчивость породных обнажений, пучение почвы выработки, горнотехнические факторы, углепородный массив, контур горной выработки, конвергенция.

Для цитирования: Совершенствование технологии анкерного крепления приконтурного массива при проведении горных выработок на угольных шахтах / В.Ф. Демин, С.Б. Алиев, Х.А. Юсупов и др. // Уголь. 2022. № 9. С. 56-60. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-9-56-60.

АКТУАЛЬНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЙ

На угольных месторождениях породы, расположенные в непосредственной близости от выработки, ослаблены трещиноватостью и проявлением неупругих пластических деформаций, в которых напряжения перераспределяются, и максимум опорных напряжений отодвигается в толщу породного массива [1, 2, 3]. В окрестности горной выработки формируются зоны повышенных и пониженных напряжений (зона опорного давления), схематично представленные на рис. 1.

При проведении горных выработок возникающее опорное давление вызывает пучение почвы. На практике применяются различные способы борьбы с этим явлением. Наиболее часто применяется периодическая подрывка пород почвы, приводящая к нарушению равновесного

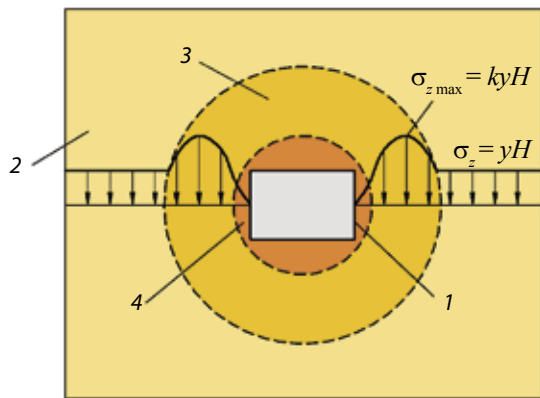


Рис. 1. Распределение напряжений вокруг горной выработки:
 1 – подготовительная выработка;
 2 – зона естественных напряжений;
 3 – зона опорного давления; 4 – зона пониженных напряжений

состояния системы «крепь – зона разрушенных пород», росту интенсивности деформирования пород на контурах выработок и увеличению смещений.

Извлечение вспученных пород при подрывке снижает пассивный отпор крепи на величину порядка 50–60 кН/м выработки. Для обеспечения устойчивого состояния почвы выработки после подрывки необходимо компенсировать отпор извлекаемых пород [4]. Установлено, что с увеличением отпора, прикладываемого к почве выработки, уменьшается величина ее смещений, причем величина механического отпора на три порядка меньше сил, действующих по периметру зоны разрушенных пород [5].

Для компенсации отпора извлекаемых пород необходимы прогрессивные технологические решения с использованием рассредоточенной целенаправленной нагрузки для повышения эффекта противодействия выдавливанию пород почвы. Одним из них является проведение подготовительных выработок с упрочнением вмещающих пород системой штанговых и тросовых (канатных) анкерных крепей, которые устанавливаются в выработке с учетом горно-геологических условий, характера взаимодействия с массивом пород при заданных нагрузках и скоростях деформаций.

При незначительном отличии прочностных параметров пород кровли, боков и почвы, в условиях всестороннего сжатия происходит деформация пород по всему периметру выработки, при этом с увеличением их размеров растет тангенциальная составляющая тензора напряжений, что приводит к увеличению смещений контуров. Необходимо разграничивать пучение почвы, возникшее при воздействии напряженно-деформированного состояния (НДС) всего массива пород вокруг выработки от выдавливания пород ее из под целиков, играющих роль штампов.

Пучение наиболее интенсивно проявляется со стороны почвы угольных пластов в подготовительных и капитальных выработках. Породные слои почвы, подверженные пучению, имеют мощность от 2 до 5 м, и при этом чем мощнее слои слабых пород, тем интенсивнее процесс пучения [6, 7, 8].

В подготовительных выработках, находящихся в зоне влияния фронта очистных работ (на расстоянии до лавы

80–100 м), по мере их приближения к исследуемому участку отмечается рост интенсивности пучения до определенного максимума. По мере отхода лавы (100–120 м) интенсивность пучения постепенно уменьшается, асимптотически приближаясь к некоторой постоянной величине. В одиночных выработках интенсивность пучения во времени носит, как правило, монотонный характер и затухает со временем.

Размеры оставляемых целиков угля существенно влияют на величину пучения: чем меньше целик, тем выше интенсивность пучения пород. Увеличение ширины целиков, охрана подготовительных выработок породными полосами снижают интенсивность пучения, длительность которого составляет от одного до трех месяцев. Эта закономерность используется при проведении выработок широким ходом с односторонней или двусторонней раскоской [9].

Уменьшение величины пучения почвы в горных выработках может быть достигнуто созданием в ее боках зон пониженных напряжений путем закрепления пород кровли сталеполимерной анкерной крепью повышенной несущей способности, что увеличивает площадь опоры кровли на бока выработки с уменьшением удельного давления на почву. Зона максимума опорного давления в этом случае смещается от краевой части массива на величину, определяемую длиной, наклоном и плотностью установки припочвенных сталеполимерных (стеклопластиковых или комбинированных) анкеров.

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ УГЛЕПОРОДНОГО МАССИВА В ОКРЕСТНОСТИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Для определения параметров припочвенного крепления пород произведено численное моделирование напряженно-деформированного состояния (НДС) углепородного массива в окрестности горных выработок с использованием программного комплекса «Ansys».

Установлен характер распределения напряжений в окрестности выработки, где образуются неупругие зоны. В большей степени это касается кровли и почвы, также боков в нижней части контура выработки. Максимальное значение нормальных напряжений возникает в крайних анкерах кровли выработки в месте его закрепления, а максимальное продольное напряжение – в почве выработки.

Результаты моделирования НДС (рис. 2) свидетельствуют о том, что на деформации и напряжения в боковых породах и в породах почвы преимущественно оказывают влияние не припочвенные, а боковые анкера, приводящие к уменьшению деформаций в породах, окружающих выработку, а также снижающие интенсивность газовыделения [10, 11].

Оценка мощности упрочняемого слоя горных пород в почве с использованием анкеров для формирования опорных блоков для несущего свода выработки выполнена по методике проф. П.М. Цимбаревича [12].

В пластовых подготовительных выработках Карагандинского угольного бассейна при залегании в почве пластов слоистых аргиллитов и алевролитов выделяются три стадии развития деформационных процессов: расслоение

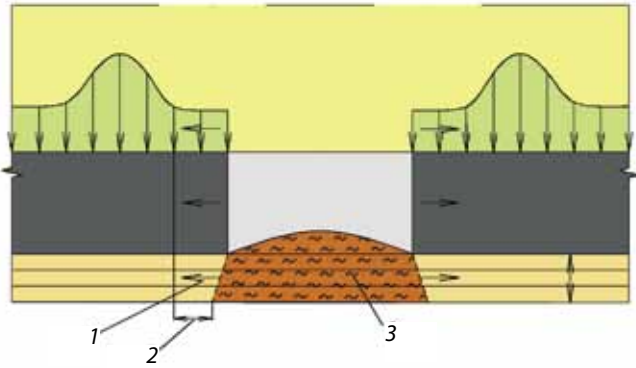


Рис. 2. Характер распределения напряжений при упрочнении контуров сталеполимерной анкерной крепи в мощном слое аргиллита:

1, 2 – направление и величина смещения зоны максимальных напряжений вглубь горного массива; 3 – зона пониженных напряжений в почве выработки

по поверхности напластования без разлома слоев пород; разлом расслоившихся пород под выработкой на блоки в форме многоярусных арок; разрушение пород почвы под боками выработки с выдавливанием их в выработку.

Характер изменения напряжений в кровле горной выработки и уменьшение интенсивности трения почвы при упрочнении контуров выработки сталеполимерной анкерной крепью представлены на рис. 2 [13, 14, 15].

Установлена закономерность, что с ростом значения объемного веса пород кровли уменьшается глубина распространения зоны пучения в почве выработки, а увеличение объемного веса боковых пород и высоты выработки приводит к увеличению глубины распространения зоны пучения [10].

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ КРЕПЛЕНИЯ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПУЧЕНИЯ ПОРОД ПОЧВЫ ВЫРАБОТОК

Установленные закономерности изменения НДС углепородных массивов (смещений, напряжений, зон расслоения и трещинообразования) позволили определить оптимальные параметры крепления. Технологические схемы снижения пучения пород почвы выработок горных выработок использованы в шахтах Карагандинского угольного бассейна для повышения устойчивости подготовительных горных выработок за счет эффективного и безопасного крепления приконтурных пород при проведении горных выработок на пологих и наклонных угольных пластах.

Установка припочвенных ограждающих анкеров (рис. 3) выполняется в почву вдоль бортов горной выработки в наклонно ориенти-

рованные шуры под углом 20–40° к вертикали. Их длина определяется технической возможностью бурения (1,6; 2,4 и 2,9 м). Анкеры устанавливают перекрестно (под прямым углом) в слой пород почвы.

Шпур от устья до половины своей глубины имеет больший диаметр и не заполняется закрепляющим составом (см. рис. 3, б). Это необходимо для разгрузки боковых пород в этой зоне.

В процессе проведения горной выработки на очередной проходческий цикл шуры бурят рядами в кровлю 1 и бока 2 выработки. Длина, диаметр и углы установки шуров определяются схемой крепления выработки. Крепление начинают с установки первого ряда из шести кровельных сталеполимерных анкеров 3 (длиной 2,4 м) и четырех боковых стеклопластиковых анкеров 4 (длиной 1,8 м). По мере подвигания устанавливают второй ряд из пяти кровельных сталеполимерных анкеров 5 (длиной 2,4 м). Предварительно под штрипсы устанавливают металлическую сетку-затяжку 6. После проведения выработки, до начала ведения очистных работ и определения мощности пучащего слоя в почву у бортов выработки устанавливают наклонные ограждающие сталеполимерные анкеры 7 (длиной 2,4 м) с заложением их под углом 30–45° к напластованию, по мере закрепления которых в шурах с помощью ампул образуются породные блоки вокруг анкеров, связанных между собой силами сцепления укрепленных пород, за счет чего создается несущий свод (контур укрепления) 8 для снижения сжимающих усилий с боков выработки. Для обеспечения разгрузки пород почвы от напряжений шуры 9

для установки анкеров разбуривают на глубину 1,0–1,2 м диаметром, большим в два раза. Это нарушит целостность пучащего слоя и замедлит (исключит) развитие продольно-поперечного изгиба слоев. Прорезанные щелью породные слои почвы разгружаются от горизонтальных напряжений. Для увеличения несущей способности и обеспечения податливости опорных элементов анкера устанавливают конусную проставку 10. В связи с наличием опорного давления впереди лавы установку анкеров в почву производят с неснижаемым опережением очистного забоя на величину, превышающую длину зоны опережающего опорного давления в 1,5–2,0 раза.

Длина ограждающих припочвенных анкеров, устанавливаемых в почву выработки, определяется по эмпирической формуле:

$$L = \frac{k_3 \cdot B \cdot p}{\sigma_{сж}}, \text{ м} \quad (1)$$

где k_3 – эмпирический коэффициент (для Карагандинского угольного бассейна $k_3 = 6,75$); B – ширина

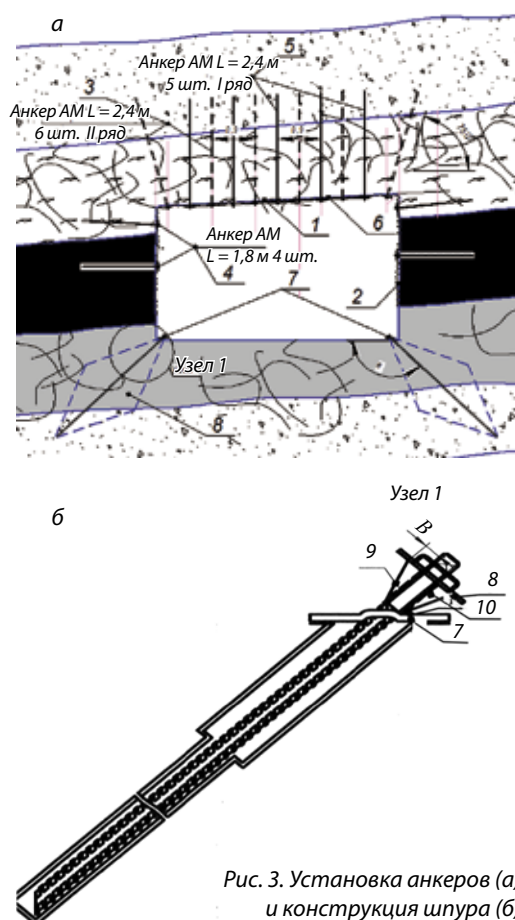


Рис. 3. Установка анкеров (а) и конструкция шура (б)

горной выработки в черне, m ; p – величина пучения пород почвы, m ; $\sigma_{сж}$ – прочность пород почвы на сжатие, МПа.

Рекомендуемый шаг установки припочвенных анкеров равен двойной величине анкерного крепления на погонный метр выработки.

На шахте «Казахстанская» Карагандинского угольного бассейна выполнены опытно-промышленные работы по установке металлических анкеров в почву газодренажного штрека № 322Д₇-з на ПК21-22 (участок проходческих работ УПР-3, рис. 4), где интенсивность пучения пород почвы была снижена на 50% [11].

Подобные работы также проведены на всех шахтах Карагандинского угольного бассейна, где были получены положительные результаты по снижению интенсивности пучения пород почвы горных выработок.

ВЫВОДЫ

При проведении горных выработок опорное давление вызывает пучение почвы выработки. Это явление нарушает нормальное функционирование выработки и приводит к дополнительным затратам на ее ремонт, проведение подрывки, переукладки путей и оборудования.

В результате проведенных исследований выявлены закономерности изменения напряженно-деформированного состояния углепородных массивов (напряжения, деформации, зоны трещинообразования) в зависимости от основных горно-геологических и горнотехнических

факторов. Так, например, установлено, что на изменение напряженно-деформированного состояния приконтурного массива оказывают преимущественное влияние не припочвенные, а боковые анкеры.

Расчеты НДС для различных горнотехнических условий разработки угольных пластов Карагандинского бассейна показали, что наибольший эффект от укрепляющего воздействия был получен при прямоугольном поперечном сечении горных выработок с анкерным креплением кровли боковых стенок по совмещенной схеме. Установка анкеров осуществляется таким образом, чтобы верхний боковой (как правило, глубинный) анкер размещался в зоне опорного давления за контуром выработки во вмещающих породах. Такая схема крепления позволяет сместить пик горного давления вглубь массива за пределы зоны распространения неупругих деформаций (разрушенных пород) в зоне влияния выработки, а нижний глубинный анкер располагается таким образом, чтобы создать ограждающую (изолирующую) зону, препятствующую распространению и выдавливанию боковых пород почвы в выработку.

На основе выявленных закономерностей установлены оптимальные параметры анкерного крепления приконтурного массива и разработаны технологические схемы крепления для снижения пучения пород почвы и повышения устойчивости подготовительных горных выработок.

Технологические схемы крепления горных выработок апробированы и внедрены в производство на шахтах Карагандинского угольного бассейна на пологих и наклонных угольных пластах.

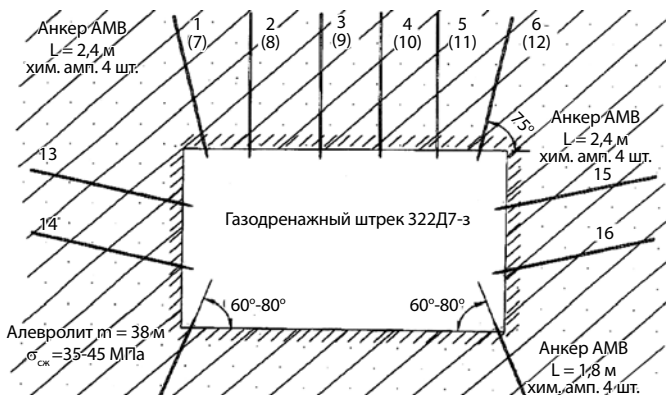


Рис. 4. Установка в почву металлических анкеров вдоль боков в газодренажном штреке № 322Д₇-з на шахте «Казахстанская»:

а – схема крепления; б – разгрузочные анкеры; в – ограждающие анкеры

Список литературы

1. Кузьмин С.В., Сальвассер И.А. Факторы и классификационные признаки, определяющие пучение // Вестник КузГТУ. 2014. № 3. С. 43-44.
2. Кузьмин С.В., Сальвассер И.А. Поиск перспективных способов борьбы с пучением пород почвы в горных выработках шахт ОАО «СУЭК-Кузбасс» // Маркшейдерский вестник. 2014. № 3. С. 39-43.
3. Кузьмин С.В. Механизм развития пучения пород почвы и способы борьбы с ним // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). Отдельный выпуск. 2014. № 3. С. 120-126.
4. Бадтиев Б.П. Исследования на моделях из эквивалентных материалов способов борьбы с пучением путем изменения формы сечения выработок // Маркшейдерский вестник. Гипроцветмет. 2015. № 4. С. 51-55.
5. Brady B.H.G., Brown E.T. Rock Mechanics for underground mining. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2004. 628 p.
6. Laubscher D.H., Jakubec J. The IRMR/MRMR Rock Mass Classification System for Jointed Rock Masses // SME. 2000. P. 475-481.
7. Hudson J.A., Harrison J.P. Engineering Rock Mechanics: an introduction to the principles and applications. London: Elsevier Science, 1997. 150 p.
8. Цай Б.Н., Бахтыбаев Н.Б. Выбор конструкций крепей горных выработок и определение их параметров в угольных шахтах // Горный журнал Казахстана. 2008. № 1. С. 14-17.
9. Бобылев Ю.Г., Демин В.Ф., Коршунов Г.И., 2009. Комбинированная и анкерная установка в выработках угольных шахт. СПб.: Санкт-Петербургская международная академия экологии, человека и природы, 2009. 176 с.

10. Пак Г.А., Долгоносов В.Н., Алиев С.Б. Методика расчета шагов обрушения кровли и прогноза газовыделения // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2012. № 7. С. 56-68.
11. Исследование взаимосвязи геомеханических и газодинамических процессов на шахтах Карагандинского угольного бассейна / Г.А. Пак, В.Н. Долгоносов, О.В. Старостина и др. // Известия ВУЗов. Горный журнал. 2012. № 4. С. 37-45.
12. Steverding B., Lehnigk S.H. The fracture penetration depth of stresspulses // *Intrn. l. Rock. Mech. Min. Sci. and Geomech. Abstr.* 1976. Vol. 13. P. 75-80.
13. Задавин Г.Д. Установление параметров анкерной крепи при проведении подготовительных выработок в условиях шахт Карагандинского бассейна: дисс. ... канд. техн. наук. Караганда: КарГТУ, 2008. 130 с.
14. Управление геомеханическими процессами для повышения устойчивости углепородного массива / В.Ф. Демин, Н.А. Немова, Т.В. Демина и др. // *Вестник НГУ.* 2016. № 2. С. 5-10.
15. Расчет параметров анкерного крепления при проведении горных выработок в условиях угольных шахт / С.Б. Алиев, В.Ф. Демин, А.Н. Томилов и др. // *Уголь.* 2021. № 4. С. 15-19. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-4-15-19.

UNDERGROUND MINING

Original Paper

UDC 622.281(574.32) © V.F. Demin, S.B. Aliev, Kh.A. Yussupov, V.N. Dolgonosov, V.S. Portnov, S.G. Ozhigin, 2022
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2022, № 9, pp. 56-60
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-9-56-60>

Title

IMPROVEMENT OF THE TECHNOLOGY OF ANCHORING OF THE CONTOUR MASSIF DURING MINING EXCAVATIONS IN COAL MINES

Authors

Demin V.F.¹, Aliev S.B.², Yussupov Kh.A.³, Dolgonosov V.N.¹, Portnov V.S.¹, Ozhigin S.G.¹

¹ A. Saginov KarTU, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan

² Research Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences (IPKON RAS), Moscow, 111020, Russian Federation

³ K.I. Satbayev KazNRTU, Almaty, 050046, Republic of Kazakhstan

Authors information:

Demin V.F., Doctor of Engineering Sciences, Professor,
 e-mail: vladfdemin@mail.ru

Aliev S.B., Academician of the National Academy of Sciences Republic of Kazakhstan, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Senior researcher,
 e-mail: alsamat@gmail.com

Yussupov Kh.A., Corresponding Member of the National Academy of Sciences Republic of Kazakhstan, Doctor of Engineering Sciences, Professor,
 e-mail: k.yussupov@satbayev.university

Dolgonosov V.N., Doctor of Engineering Sciences, Professor,
 e-mail: vnd070765@mail.ru

Portnov V.S., Doctor of Engineering Sciences, Professor,
 e-mail: vs_portnov@mail.ru

Ozhigin S.G., Doctor of Engineering Sciences, Professor,
 e-mail: osg62@mail.ru

Abstract

When maintaining workings during operation, work is carried out to eliminate the consequences of heaving of soil rocks that occurs during plastic deformations with extrusion of soil rocks into the working cavity under the action of contour rock pressure.

The revealed patterns of changes in the stressed-deformed state of carbon-bearing masses (displacements, stresses, cracking zones), depending on the main mining-geological and mining technical factors, made it possible to establish the optimal parameters for fastening soil rocks and develop technological fastening schemes that significantly reduce the occurrence of heaving of soil rocks in mine workings. The technology of anchor fastening of marginal rocks during mine workings on gentle and inclined coal seams was developed and tested in the mines of the Karaganda coal basin.

Keywords

Underground mine workings, Stresses, Strains, Attachment parameters, Geomechanical processes, Rockbolt support, Process of support, Stability of rock outcrops, Heaving of the soil of the mine, Mining engineering factors, Coalrock mass, Mine working boundary, Convergence.

References

1. Kuzmin S. & Salvasser I. Floor convergence factors and classification features. *Vestnik KuzGTU*, 2014, (3), pp. 43-44. (In Russ.).
2. Kuzmin S. Research perspective promising ways to fight ofmine excavations floor convergence on the «SUEK–Kuzbass» Mine. *Markshejderskij vestnik*, 2014, (3), pp. 39-43. (In Russ.).
3. Kuzmin S. Mechanism of floor convergence development of change ways. *Gornyj informatsionno-analiticheskij byulleten*, 2014, (3), pp. 120-126. (In Russ.).

4. Badtiev B. Equivalent modeling of the process of convergence of the mine floor when changing the shape of the excavation contour. *Markshejderskij vestnik. Giprotsvetmet*, 2015, (4), pp. 51-55. (In Russ.).

5. Brady B.H.G. & Brown E.T. *Rock Mechanics for underground mining*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 2004, 628 p.

6. Laubscher D.H. & Jakubec J., The IRMR/MRMR Rock mass classification system for jointed rock masses. *SME*, 2000, pp. 475-481.

7. Hudson J.A. & Harrison J.P. *Engineering Rock Mechanics: an introduction to the principles and applications*. London, Elsevier Science, 1997, 150 p.

8. Zay B. & Bakhtubaev N. Selection of mine support structures and determination of their parameters in coal mines. *Gornyj zhurnal Kazakhstana*, 2008, (1), pp. 14-17.

9. Bobylev Yu.G., Demin V.F. & Korshunov G.I. Combined and anchor bolting installation in coal mines excavations. St. Petersburg, St. Petersburg International Academy of Ecology, Man and Nature Publ., 2009, 176 p. (In Russ.).

10. Pak G., Dolgonosov V. & Aliev S. Procedure for calculation of roof collapse steps and gas release forecast. *Gornyj informatsionno-analiticheskij byulleten*, 2012, (7), pp. 56-68. (In Russ.).

11. Pak G., Dolgonosov V., Starostina O. & Nizametdinov F. Geomechanical and gasodynamic processes interconnection research on the Karaganda coal mines basin. *Izvestiya VUZov. Gornyj zhurnal*, 2012, (4), pp. 37-45. (In Russ.).

12. Steverding B. & Lehnigk S.H. The fracture penetration depth of stresspulses. *Intrn. l. Rock. Mech. Min. Sci. and Geomech. Abstr.*, 1976, (13), pp. 75-80.

13. Zadavin G. The rockbolt support parameters of during preparatory workings in the conditions of the Karaganda coal mines basin. PhD eng. sci. diss. Karaganda. KSTU, 2008, 130 p.

14. Demin V., Nemova N., Demina T. & Zeytinova S. Geomechanical process management to stability of coal rock mass. *Vestnik NGU*, 2016, (2), pp. 5-10. (In Russ.).

15. Aliev S.B., Demin V.F., Tomilov A.N. & Miletchenko N.A. Calculation of bolting parameters for coal mine development. *Ugol'*, 2021, (4), pp. 15-19. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2021-4-15-19

For citation

Demin V.F., Aliev S.B., Yussupov Kh.A., Dolgonosov V.N., Portnov V.S. & Ozhigin S.G. Improvement of the technology of anchoring of the contour massif during mining excavations in coal mines. *Ugol'*, 2022, (9), pp. 56-60. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2022-9-56-60.

Paper info

Received July 13, 2022

Reviewed July 26, 2022

Accepted August 25, 2022