

УДК 622.272 © В.Н. Фрянов¹, С.М. Никитенко², Л.Д. Павлова¹,
Ю.В. Малахов^{2,3}, И.К. Шмаков¹, 2024

UDC 622.272 © V.N. Fryanov¹, S.M. Nikitenko², L.D. Pavlova¹,
Yu.V. Malakhov^{2,3}, I.K. Shmakov¹, 2024

¹ ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»,
654007, г. Новокузнецк, Россия

¹ Siberian State Industrial University, Novokuznetsk,
654007, Russian Federation

² ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии
Сибирского отделения Российской академии наук» (ФИЦ УУХ СО РАН),
650065, г. Кемерово, Россия

² Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Kemerovo, 650065, Russian Federation

³ Института проблем комплексного освоения недр
им. академика Н.В. Мельникова, 111020, г. Москва, Россия
✉ e-mail: ld_pavlova@mail.ru

³ Institute of problems of comprehensive exploitation of mineral resources
them academician N.V. Melnikov Russian Academy of Sciences,
Moscow, 111020, Russian Federation
✉ e-mail: ld_pavlova@mail.ru

Технологические решения для проходки подготовительных выработок с дистанционно-управляемой гидравлической выемкой угля*

Technological solutions for preparatory mining with remotely controlled hydraulic coal excavation

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2024-11S-157-164>

В работе разработаны технологические решения для проходки подготовительных горных выработок и отработки трудноизвлекаемых запасов угольных пластов с применением многофункциональной циклично-шагающей крепи (МЦШК). С учетом сложности и изменчивости горно-геологических условий на участках с трудноизвлекаемыми запасами угольных пластов предлагается создание проходческого комплекса, включающего МЦШК, крепеустановщик, гидромонитор. Технологические решения в структуре проходческого комплекса обеспечивают частичное совмещение следующих операций: дистанционная выемка угля, передвижка МЦШК, крепление пород кровли, средства самотечного транспорта горной массы до подземной камеры обезвоживания угля. Обоснованы конструкция и параметры МЦШК, форма и размеры подготовительного забоя, технологические решения по эффективному разрушению угля.

Ключевые слова: подготовительные выработки, гидравлическая выемка, модифицированная крепь шагающего типа, гидроотбойка, гидромонитор, дистанционное управление.

ФРЯНОВ В.Н.

Доктор техн. наук,
профессор кафедры геотехнологии,
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный
индустриальный университет»,
654007, г. Новокузнецк, Россия

НИКИТЕНКО С.М.

Доктор экон. наук, доцент,
главный научный сотрудник
лаборатории угольного машиноведения,
ФГБНУ «Федеральный исследовательский
центр угля и углехимии Сибирского отделения
Российской академии наук»,
650065, г. Кемерово, Россия,
e-mail: nsm.nis@mail.ru



Научно-образовательный
центр «Кузбасс-Донбасс»

* Статья подготовлена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла, утвержденной Распоряжением Правительства Российской Федерации 11.05.2022 № 1144-р (Соглашение № 075-15-2022-1190).

ПАВЛОВА Л.Д.

Доктор техн. наук, профессор,
заведующая кафедрой прикладной
математики и информатики,
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный
индустриальный университет»,
654007, г. Новокузнецк, Россия,
e-mail: ld_pavlova@mail.ru

МАЛАХОВ Ю.В.

Канд. техн. наук, ведущий инженер
лаборатории угольного машиноведения
Института угля ФГБНУ «Федеральный
исследовательский центр угля
и углехимии Сибирского отделения
Российской академии наук»,
650065, г. Кемерово, Россия,
старший научный сотрудник,
лаборатории геотехнологических рисков
при освоении газоносных угольных
и рудных месторождений
Института проблем
комплексного освоения недр
им. академика Н.В. Мельникова,
111020, г. Москва, Россия,
e-mail: yv.malakhov@mail.ru

ШМАКОВ И.К.

Аспирант
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный
индустриальный университет»,
654007, г. Новокузнецк, Россия

Для цитирования: Технологические решения для проходки подготовительных выработок с дистанционно управляемой гидравлической выемкой угля / В.Н. Фрянов, С.М. Никитенко, Л.Д. Павлова и др. // Уголь. 2024;(115):157-164. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-115-157-164.

Abstract

Technological solutions have been developed for sinking and mining hard-to-recover coal seam reserves using multifunctional cyclic walking support (MCWS). Taking into account the complexity and variability of mining and geological conditions in areas with hard-to-recover reserves of coal seams, it is proposed to create a tunneling complex, including an MCWS, a fastener, and a hydraulic monitor. Technological solutions in the structure of the tunneling complex provide partial combination of the following operations: remote coal mining, movement of the MCWS, fastening of roof rocks, means of gravity transport of rock mass to the underground coal dewatering chamber. The design and parameters of the MCWS, the shape and dimensions of the development face, and technological solutions for the effective destruction of coal are substantiated.

Keywords

Preparatory workings, hydraulic excavation, modified walking type support, hydraulic breaker, hydraulic monitor, remote control.

Acknowledgements

The article was prepared with the financial support of the Ministry of Education and Science of Russia within the framework of the integrated scientific and technical program of the full innovation cycle, approved by the Order of the Government of the Russian Federation as of 11.05.2022 № 1144-r (Agreement № 075-15-2022-1190 as of 27.09.2022).

For citation

Fryanov V.N., Nikitenko S.M., Pavlova L.D., Malakhov Yu.V., Shmakov I.K. Technological solutions for preparatory mining with remotely controlled hydraulic coal excavation. *Ugol'*. 2024;(115):157-164. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2024-115-157-164.

ВВЕДЕНИЕ

Рост темпов подземной добычи угля сдерживается из-за недостаточности воспроизводства подготовленных к выемке запасов. Особенно сложная ситуация с подготовкой выемочных столбов сложилась при отработке трудноизвлекаемых запасов угольных пластов, которые характеризуются неустойчивой непосредственной кровлей, наличием на отдельных участках геологических нарушений разрывного типа, склонностью пластов к геодинамическим и газодинамическим явлениям. Существенным ограничением скорости проведения выработок является обрушение неустойчивых пород кровли при обнажении ее в процессе выемки пласта. Прерывание работы комбайна через каждые 0,8-2 м проходческого цикла для своевременного поддержания пород кровли и установки временной крепи в призабойной зоне ограничивает темпы продвижения забоев на действующих шахтах России до 140-160 м в месяц [1].

Одним из перспективных решений повышения эффективности и безопасности проходческих работ является создание и внедрение на шахтах многофункциональной циклично-шагающей крепи [2, 3, 4, 5], которая обеспечивает временное безопасное поддержание пород кровли в призабойном пространстве над проходческим комбайном и позволяет производить анкерное крепление выработки без остановки комбайна и вне зоны его работы [6, 7, 8, 9, 10]. Областью применения проходческого комплекса с МЦШК является многоштрековая подготовка выемочных столбов при отработке их длинными комплексно-механизированными забоями с полным обрушением пород кровли [11].

В горной практике на действующих и проектируемых шахтах имеются участки пластов с трудноизвлекаемыми запасами угля: в зонах геологических нарушений, на участках неправильной геометрической формы, с переменным углом залегания пластов и др. Для этих условий предлагается создать технологический комплекс проведения подготовительных выработок и выемки угля в коротких забоях (КСО) с расположением под защитой МЦШК режущих органов проходческих комбайнов без ходовой и транспортной частей, средств гидромониторной выемки угля, дистанционно управляемых анкероустановщиков. Самотечный гидравлический транспорт горной массы осуществляется до камеры подземного обезвоживания, а подъем «сухого» угля – по традиционной схеме действующей шахты. Реализация предлагаемых технологических схем проведения выработок возможна не только на гидрошахтах, но и на шахтах с традиционной технологией с использованием локальных подземных камер обезвоживания, что подтверждено положительным производственным опытом на одном из участков шахты «Нагорная» в Кузбассе.

В этой связи актуальной является научно-техническая задача разработки технологических решений для проходки подготовительных выработок и отработки трудноизвлекаемых запасов угольных пластов с дистанционной гидравлической выемкой угля.

РАСЧЕТ ПРЕДЕЛЬНОЙ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ МЦШК

Процесс проведения подземных выработок и очистных работ на трудноизвлекаемых участках угольных пластов тесно связан с пространственным и временным изменением напряженно-деформированного состояния массива горных пород и элементов крепи, которые зависят от формы и размеров выработанного пространства, размеров угольных целиков и топологии подготовительных выработок. В окрестности очистных забоев возникают зоны повышенного горного давления, происходят разрушения краевых участков угольного пласта и обрушения пород кровли.

Использование МЦШК, применение которой позволит совместить процессы выемки угля и поддержания пород кровли, является одним из способов предотвращения этих опасных событий в зонах работы персонала и расположения машин и оборудования. Однако оптимальное пространственное положение и распор МЦШК в кровлю и почву выработки зависят от напряженно-деформированного состояния углепородного массива.

Для расчета геомеханических параметров массива горных пород и элементов МЦШК использованы методические подходы, реализованные в [12, 13, 14]. По результатам численного решения методом конечных элементов трехмерной задачи геомеханики получены напряжения, деформации и смещения горных пород.

Для выделения опасных зон в массиве горных пород и выработках проводился анализ следующих геомеханических параметров: вертикальные смещения пород непосредственной кровли и элементов шагающей крепи; отношение остаточной прочности угольного пласта или

пород к исходной; вертикальные напряжения в краевых участках угольного пласта и целиков; горизонтальные напряжения в угольном пласте и целиках.

Для решения двумерной задачи выбиралось вертикальное сечение в опасных зонах: на сопряжении выработок, в угольных целиках, на участках воздействия МЦШК на кровлю и почву пласта.

На *рис. 1* представлены план горных выработок в КСО с применением МЦШК, полученные значения распределения вертикальных смещений η пород кровли (*см. рис. 1, а*) и изолинии распределения вертикальных напряжений σ_v (*см. рис. 1, б*) в отработываемом короткими забоями угольном пласте.

Согласно графикам (*см. рис. 1*), оседания породы кровли и вертикальные напряжения в проходческом забое выемочной печи составляют, соответственно, $U_{од} = 70$ мм, а вертикальные напряжения $\sigma_{од} = 10,3$ МПа. На сопряжении выемочной печи и очистной заходки в отработываемом столбе оседания кровли $U_s = 180$ мм, а вертикальные напряжения $\sigma_s = 25$ МПа.

При известных значениях глубины и оседания пород кровли можно по Указаниям [15] определить минимальную несущую способность МЦШК в любой точке выемочного участка (*см. рис. 1*). Для условий (*см. рис. 1*) при прочности пород кровли $R_c = 9,35$ МПа установлены нормативные нагрузки на МЦШК [15]:

– для выемочной печи при смещениях кровли 70 мм нормативная нагрузка на крепь равна 50 кПа;

– на сопряжении выемочной печи и очистной заходки в отработываемом столбе при оседаниях кровли $U_s = 180$ мм, нормативная нагрузка на крепь равна 125 кПа.

Отмечено, что при применении комбинированной крепи в виде анкеров и МЦШК нормативную нагрузку на шагающую крепь можно уменьшать посредством увеличения расчетного сопротивления пород сжатию R_c по формуле:

$$R_{ск} = k_c \cdot R_c \quad (1)$$

где $R_{ск}$ – расчетное сопротивление пород сжатию при комбинированной крепи, МПа; k_c – коэффициент, учитывающий влияние анкерной крепи, определяется согласно [15].

В частности, при сопротивлении анкера 10 кН и плотности анкерной крепи 1 анкер на m^2 коэффициент $k_c = 1,5$.

Таким образом, для прогноза основных параметров технологии проведения выработок с применением МЦШК предлагается использование авторских компьютерных комплексов, обеспечивающих решения 2D- и 3D-задач геомеханики с настройкой результатов расчета по действующим нормативным документам и шахтным измерениям.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПРОХОДКИ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК С ДИСТАНЦИОННОЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ВЫЕМКОЙ УГЛЯ

Для конструирования технологической схемы проходки подготовительной выработки с применением средств гидромеханизации рассмотрены два варианта:

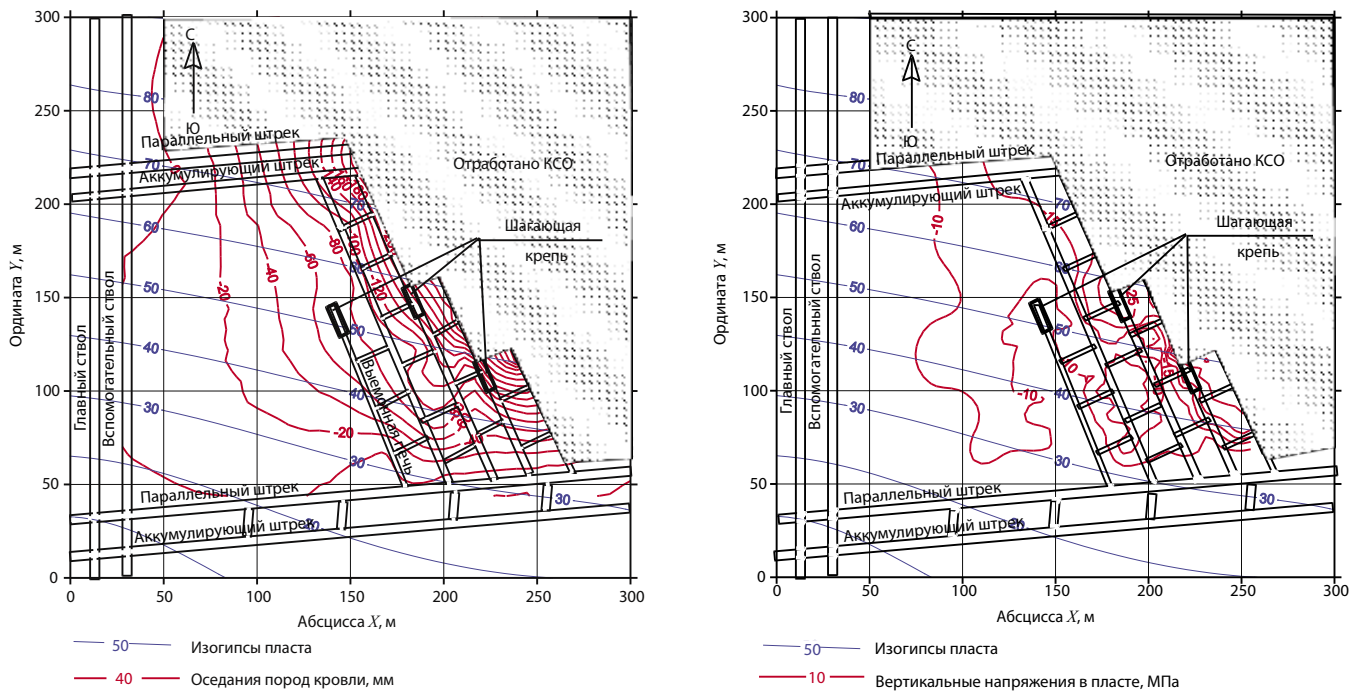


Рис. 1. План горных выработок и распределение вертикальных смещений η пород непосредственной кровли (а), распределение вертикальных напряжений σ_v в угольном пласте (б) при отработке его короткими забоями

Fig. 1. Layout of mine workings and distribution of vertical displacements η of the immediate roof rocks (a), distribution of vertical stresses σ_v in the coal seam (b) when mining it with short faces

- механогидравлический способ разрушения угольного пласта проходческим комбайном с давлением воды 1,5-3 МПа и гидротранспортом водоугольной смеси;
- гидравлический способ разрушения угольного пласта высоконапорной струей воды давлением до 15 МПа и гидротранспортом водоугольной смеси.

При первом варианте для проведения подготовительных выработок под защитой МЦШК применяется гидравлический способ добычи путем разрушения угля механогидравлическим проходческим комбайном типа КПА, К56-МГ, ГПКГ, Урал-38 и транспортом горной массы в виде водоугольной смеси. Принципиальная схема такого горнопроходческого комплекса соответствует параметрам гидрофицированной крепи шагающего типа [16].

При втором варианте проходческий забой оснащается выемочным агрегатом для гидравлического разрушения угольного массива (гидромонитором), положение которого в процессе работы может быть постоянным или перемещаться по указаниям оператора при дистанционном управлении элементами проходческого комплекса.

Обоснованы следующие технологические требования для конструирования проходческого комплекса с гидравлической выемкой угля:

- наличие крепи шагающего типа МЦШК для предотвращения обрушений пород кровли вблизи подготовительного забоя;
- оснащение крепи шагающего типа следующими устройствами, приборами и механизмами: гидромонитор массой 400-550 кг с габаритами 2400 x 600 x 800 мм; анкероустановщик массой до 50 кг; комплект решетчатой затяжки кровли; средства видеонаблюдения; сред-

ства дистанционного управления гидромонитором; вспомогательные элементы крепи шагающего типа и другие необходимые для обеспечения технологического цикла устройства.

РАСЧЕТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ГИДРОМОНИТОРНОЙ СТРУИ

Для теоретического обоснования параметров технологии проведения подготовительной выработки с применением высоконапорной гидроотбойки и МЦШК использованы результаты работы гидрошахт Кузбасса [17, 18, 19, 20]. В качестве исходной зависимости основных параметров гидравлической выемки угля использована гиперболическая зависимость вида [17]:

$$\frac{\Pi_i}{\Pi_0} = 0,08 + \frac{0,56C}{l}, \quad (2)$$

где Π_i – расчетная производительность гидроотбойки угля, т/ч; Π_0 – средняя теоретическая производительность по забою, т/час; l – расстояние от насадки гидромонитора до поверхности пласта в подготовительном забое, м; C – ширина выработки, м.

Графики отношения расчетной производительности гидравлической выемки относительно теоретической, вычисленные по модифицированной формуле (2), представлены на рис. 2. Рассмотрены варианты при разной ширине выработок: 3 м – сбойки, разрезные печи; 5 м – подготовительные выработки в пределах выемочного столба; 8 – монтажные и демонтажные камеры при отработке запасов угольного пласта длинными комплексно-механизированными очистными забоями.

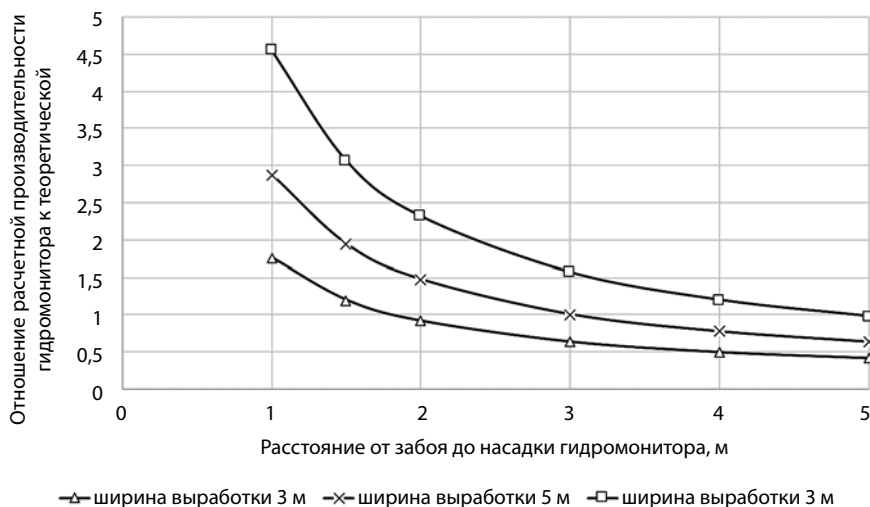


Рис. 2. Графики изменения отношения расчетной производительности гидравлической выемки к теоретической в зависимости от расстояния насадки гидромонитора до поверхности подготовительного забоя

Fig. 2. Graphs of changes in the ratio of the estimated hydraulic excavation output to the theoretical one depending on the distance of the hydromonitor nozzle to the surface of the preparatory face

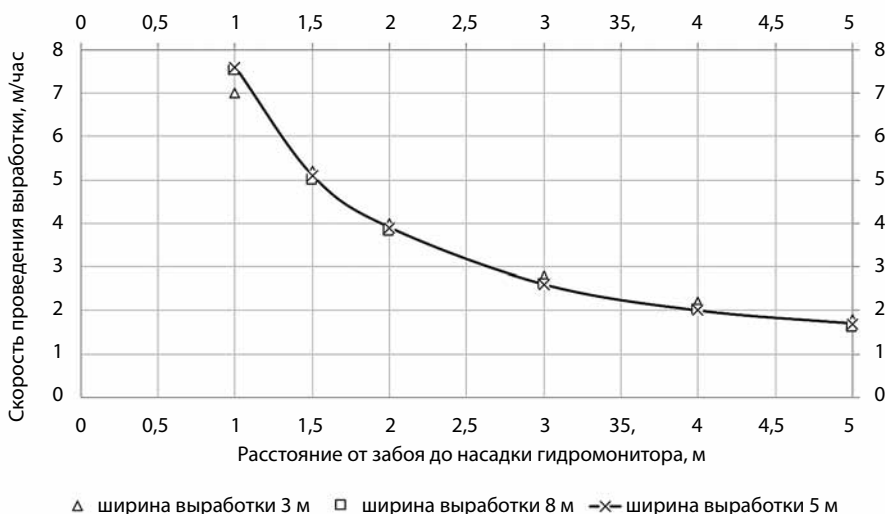


Рис. 3. Графики зависимости скорости продвижения подготовительного забоя от расстояния между забоем и насадкой гидромонитора

Fig. 3. Dependence graphs of the preparatory face advancement rate on the distance between the mining face and the nozzle of the hydromonitor

Из графиков (см. рис. 2) следует, что при увеличении расстояния от насадки гидромонитора до поверхности подготовительного забоя происходит резкое снижение производительности гидравлического способа разрушения угольного пласта. Кроме того, выявлена закономерность повышения эффективности гидроотбойки угля при увеличении ширины выработки. Это явление доказано экспериментально: при увеличении ширины выработки создаются благоприятные условия для отжима угля с поверхности пласта за счет возникновения растягиваю-

щих напряжений и горизонтальных смещений в краевой части пласта. При наложении горного давления и энергии гидромониторной струи происходит увеличение повреждаемости угольного пласта и более интенсивное разрушение угля.

В качестве дополнительного эффекта ранее авторами по результатам натуральных экспериментов установлено, что высоконапорная струя воздействует на массив в виде импульсов, то есть постепенно возрастают повреждаемость и разрушение угольного массива, и резко снижается риск возникновения геодинамических явлений.

Среднюю теоретическую производительность гидравлической выемки угля в проходческом забое рекомендуется определять по формуле [19]:

$$\Pi_0 = 0,0316 \frac{d_H^2}{1 + 0,07 \sqrt{\frac{H}{f}}} \left(\frac{H}{f} \right)^{2,5}, \quad (3)$$

где d_H – диаметр насадки, м; H – давление воды в канале ствола гидромонитора, МПа; f – коэффициент крепости угля по шкале проф. М.М. Протодьяконова.

По результатам анализа формулы (3) установлено, что производительность гидравлической выемки угля существенно зависит от коэффициента крепости угля. Например, в случае давления воды $H = 10$ МПа, диаметре насадки 0,02 м [18] теоретическая производительность гидромонитора по выемке угля при коэффициенте крепости $f = 1,0$ равна 32,8 т/ч, а при $f = 1,5$ – не превышает 13 т/ч.

На рис. 3 приведен график зависимости скорости продвижения подготовительного забоя от разных расстояний его от насадки гидромонитора при теоретической производительности $\Pi_0 = 32,8$ т/ч.

Согласно графику (см. рис. 3), на расстоянии более 3 м скорость проходки резко снижается. В связи с этим обосновано следующее требование к технологии проведения подготовительной выработки с применением высоконапорной гидроотбойки и крепи шагающего типа: при модификации МЦШК необходимо на-

МОДИФИКАЦИЯ МЦШК ДЛЯ ДИСТАНЦИОННО УПРАВЛЯЕМОЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ВЫЕМКИ УГЛЯ

В соответствии с результатами зарубежных исследований [22, 23, 24], а также обоснованными авторами статьи требованиями и результатами расчета производительности гидромониторной струи разработаны предложения по изменению конструкции МЦШК и схема размещения гидромонитора в подготовительном забое (рис. 4) с интеграцией гидромонитора и МЦШК в виде единого технологического комплекса, который синхронно передвигается по мере проходки выработки. При этом обеспечивается максимальная производительность гидромониторной выемки, и увеличивается скорость проведения выработки по сравнению с традиционной комбайновой технологией.

Для установки гидромониторного агрегата на передней паре гидростоек 1 (рис. 4) МЦШК монтируется рабочая платформа 12, на которой располагается гидромонитор 4. Положение гидромонитора на платформе может меняться в зависимости от устойчивости пород кровли, направления выемки угля у левого или правого боков выработки. Положение платформы выбирается таким образом, чтобы под ней обеспечивался транспорт горной массы в виде водоугольной смеси. Высота рабочей зоны над платформой должна быть достаточной для прохода персонала при выполнении ремонтных и эксплуатационных работ. При передвижке передней пары гидростоек 1 платформа перемещается с помощью гидродомкратов вперед в сторону забоя. Подача высоконапорной воды давлением 10-15 МПа в гидромонитор 4 осуществляется по трубопроводу 5, куда она по гибким шлангам поступает из магистрального трубопровода 6. Прекращение или подача высоконапорной воды осуществляется с помощью задвижки 13, управляемой вручную или автоматически.

На задней консоли горизонтальной платформы монтируется анкероустановщик 7 для установки анкеров 8 и подхватов 16. Под перекрытием МЦШК располагается решетчатая стальная затяжка 11, которая по мере движения крепи расправляется между породами кровли 15 и перекрытием 3.

Для предотвращения рисков возникновения опасных ситуаций на платформе 12, в случае влияния отраженной водяной струи и кусков угля, сооружается воздухопроницаемая ограждающая перемычка 9.

Работы в подготовительном забое осуществляются в следующем порядке. После подготовки забоя, оценки готовности механизмов, контроля работы датчиков дистанционного видеонаблюдения 17 и тестирования системы управления 18 включается с помощью задвижки 13 высоконапорная вода, и струя направляется на разрушаемую поверхность пласта.

Контролем эффективности разрушения являются плотность потока «пульпы» 10, видеозапись изменения контура поверхности забоя и состояния пород кровли. Одновременно дистанционно проводится установка анкерной крепи. После перемещения контура забоя на шаг передвижки крепи проводится ее перемещение парами стоек 1 или 2.

Оператор управляет гидромонитором и шагающей крепью при помощи пульта, на котором также присутствует экран, передающий изображение с камеры видеонаблюдения. Оператор, основываясь на изображении объектов на экране, определяет центр забоя и начинает разрушение угольного пласта гидромонитором, после этого производится перемещение струи гидромонитора по составленным технологическим картам ведения работ в завершение с оконтуриванием выработки. После прохождения цикла выемки угля гидромонитором производится передвижка МЦШК.

Для дистанционного управления оператору заблаговременно на экране отображается технологическая карта последовательности движения ствола гидромонитора в зависимости от объема извлеченного угля в забое. Параметры технологической карты заблаговременно рассчитываются с учетом формы и размера выработки, объема извлеченного угля.

После подвигания забоя и крепи на расстояние, указанное в паспорте крепления, высоконапорная вода переключается задвижкой 13, пополняется запас комплектов анкерной крепи, решетчатой стальной затяжки, высоконапорных шлангов, наращивается жесткий высоконапорный магистральный трубопровод 6, и цикл повторяется.

Повышение скорости подвигания подготовительного забоя с применением проходческого комплекса (см. рис. 4), включающего модифицированную МЦШК с рабочей платформой для монтажа на ней крепеустановщика и гидромонитора высоконапорной гидравлической выемки угля, обеспечивается за счет:

- совмещения операций по выемке угля и креплению пород кровли;

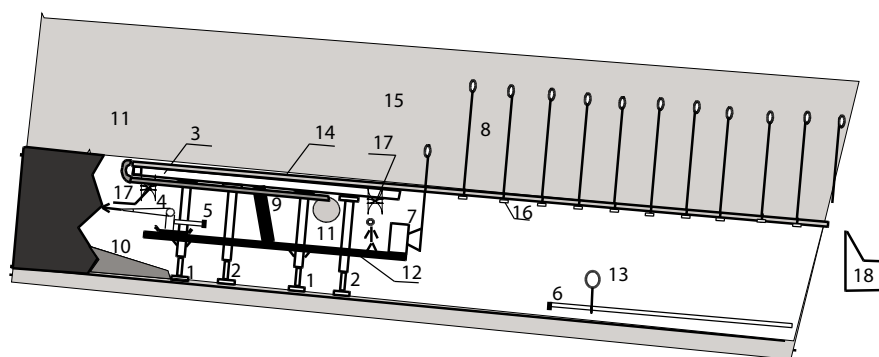


Рис. 4. Модифицированный вариант МЦШК с рабочей платформой для монтажа на ней анкероустановщика и гидромонитора высоконапорной гидравлической выемки угля

Fig. 4. A modified version of MCWS with a working deck to install a roof-bolter and a hydromonitor for high-pressure hydraulic mining of coal

– сокращения в технологическом цикле времени на проведение мероприятий по профилактике взрывов метановоздушной смеси, что регламентируется при традиционном комбайновом способе;

– уменьшения площади поперечного сечения выработок до 8 м²;

– отсутствия операций по транспорту горной массы механическим способом: конвейер, самоходный вагон и др.

Область применения технологических решений для проходки подготовительных выработок с дистанционно управляемой гидравлической выемкой угля: мощность угольных пластов – 1,3-15 м; глубина разработки (апробированная) – 400 м, прогнозная – до 1000 м; газоносность пласта – до 30 м³/т; пласты – склонные к горным ударам и внезапным выбросам угля, породы и газа; угол залегания пластов – 10-90°.

Основные параметры технологической схемы для дистанционно управляемой гидравлической выемки угля: длина МЦШК – 6 м, несущая способность крепи – 240 кН/м², время рабочего цикла передвижки – 2,15 мин, скорость передвижки – 0,93 м/мин.

Предлагаемый в статье материал представляет интерес для международного научного сообщества, что подтверждается четырьмя публикациями авторов в международных журналах.

ВЫВОДЫ

Решена актуальная научно-техническая задача для высокогазоносных угольных шахт с трудноизвлекаемыми запасами. Выполнен расчет предельной несущей способности МЦШК на основе результатов численного моделирования напряженно-деформированного состояния массива горных пород. В качестве факторов, определяющих предельную нагрузку на крепь, приняты вертикальные напряжения в краевой части угольного пласта и смещения пород кровли над шагающей крепью.

Обоснованы варианты технологических решений проходки подготовительных выработок: с механической выемкой угля, смывом разрушенного угля низконапорной водой давлением до 3 МПа и самотечным транспортом горной массы; дистанционной выемкой угля высоконапорной струей воды давлением до 15 МПа и самотечным транспортом горной массы. При реализации первого варианта возможно совмещение операций по выемке угля и временному креплению пород кровли.

Разработан алгоритм расчета производительности гидромониторной струи с учетом ее давления, ширины выработки и предела прочности угля.

Разработана конструкция варианта МЦШК, обеспечивающая дистанционное управление процессами выемки угля, перемещение шагающей крепи и подачу высоконапорной воды к гидромонитору в процессе выемки угля.

Список литературы • References

1. Беликов В.В., Чавкин А.И. Проблемы и пути повышения эффективности проведения подготовительных выработок на угольных шахтах России // Уголь. 2009. № 3. С. 31-34. URL: <http://www.ugolinfo.ru/Free/032009pdf> (дата обращения: 15.10.2024).

- Belikov V.V., Chavkin A.I. Problems and ways of increase of efficiency of carrying out of preparatory developments on collieries of Russia. *Ugol'*. 2009;(3):31-34. Available at: <http://www.ugolinfo.ru/Free/032009pdf> (accessed 15.10.2024). (In Russ.).
2. Разработка технических требований к механизированной шагающей крепи в составе горнопроходческого комплекса / В.И. Клишин, Ю.В. Малахов, С.М. Никитенко и др. // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. 2020. № 6. С. 125-131. Klishin V.I., Malakhov Yu.V., Nikitenko S.M., Anferov B.A. Development of technical requirements for the mechanized walking support as a part of the tunneling machine. *Nauchnye tekhnologii razrabotki i ispol'zovaniya mineral'nykh resursov*. 2020;(6):125-131. (In Russ.).
 3. Патент РФ № 2724816. Способ проведения подготовительной горной выработки и механизированная крепь для его осуществления / Клишин В.И., Анферов Б.А., Кузнецова Л.А., Никитенко С.М., Малахов Ю.В., Мефодьев С.И. Патентообладатель ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук». 2020. Бюл. № 18.
 4. Малахов Ю.В. Обоснование параметров многофункциональной механизированной шагающей крепи: специальность 05.05.06 Горные машины: дис. ... канд. техн. наук. Кемерово, 2022. 170 с.
 5. Song S.-M., Waldron K.J. *Machines That Walk. The Adaptive Suspension Vehicle*. Cambridge, Massachusetts, London, England, MIT Press, 1989, 314 p.
 6. Howe L. A Decade of mobile roof support application in the United States. Paper in Proceedings, 17th International Conference on Ground Control in Mining, ed. by S.S. Peng (Morgantown, WV, Aug. 4-6, 1998). Dept. of Mining Engineering, WV Univ., pp 187-201.
 7. Maleki H., Owens J. Analysis of the interaction between mobile roof supports and mine strata: paper presented at the conference on design and construction in mining, petroleum and civil engineering, Sao Paulo, Brazil. Escola Politecnica da Universidade de Sao Paulo, 1998, pp. 287-393.
 8. US Patent 2,795,936 Sept. 30, 1952 Walking roof support. Warren A. Blower, Franklin, and Richard L. Ziegler, Seneca, Pa., assignors to Joy Manufacturing Company, Pittsburgh, Pa., a corporation of Pennsylvania. Appl., Serial No. 312,182 5 Claims. (Cl. 61-63).
 9. US Patent 4,189,258 Maykemper et al., Feb. 19, 1980 Walking mine-roof support. Hermann Hemscheidt Maschinenfabrik GmbH & Co., Wuppertal, Fed. Rep. of Germany.
 10. US patent 3,435,620 Weirich et al., Apr. 01, 1969 Walking mine roof support. Walter Gewerk schaft Eisenhuetten Westfalia, Altlunen, Germany CL. E21d 11/00 U.S. Cl. 61-45 7 Claims.
 11. Никитенко С.М., Кубрин С.С., Малахов Ю.В. Обеспечение безопасности при внедрении новых технологий в проходческих и очистных забоях // Устойчивое развитие горных территорий. 2022. Т. 14. № 4(54). С. 615-622. Nikitenko S.M., Kubrin S.S., Malakhov Yu.V. Safety ensuring in the implementation of new technologies for tunneling and production faces. *Ustojchivoe razvitie gornyx territorij*. 2022;14(4):615-622. (In Russ.).
 12. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2020618419. Программа для численного исследования нелинейной математической модели деформирования геомассива с учетом разномодульности горных пород / А.Б. Цветков,

- Л.Д. Павлова, В.Н. Фрянов; ФГБОУ ВО Сиб. гос. индустр. ун-т; Фед. служба по интеллект. собств.; дата регистр. 27 июля 2020.
13. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2020618595. Программный комплекс для моделирования геомеханических процессов в структурно неоднородном геомассиве при взаимном влиянии системы подземных горных выработок / В.Н. Фрянов, Л.Д. Павлова, А.Б. Цветков; ФГБОУ ВО Сиб. гос. индустр. ун-т; Фед. служба по интеллект. собств.; дата регистр. 30 июля 2020.
 14. Павлова Л.Д., Петрова Т.В., Фрянов В.Н. Математическое моделирование геомеханического состояния углепородного массива в окрестности сопряжений горных выработок: монография. Новокузнецк: СибГИУ, 2002. 202 с.
 15. Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах. М.: Издательство «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2011. 216 с.
 16. Исследование взаимодействия многофункциональной шагающей крепи с массивом горных пород при проведении подземных выработок / В.И. Клишин, В.Н. Фрянов, Павлова Л.Д. и др. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2021. № 3. С. 3-12.
Klishin V.I., Fryanov V.N., Pavlova L.D., Nikitenko S.M., Malakhov Yu.V. Research into interaction of multifunctional walking support with the rock mass during underground excavations. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*. 2021;(3):3-12. (In Russ.).
 17. Шавловский С.С. Основы динамики струй при разрушении горного массива. М.: Наука, 1979. 175 с.
 18. Протасов С.И., Поклонов Д.А. Экспериментальные исследования и обоснование целесообразности применения гидромониторов ГД-300 на разрезах Кузбасса // Горные науки и технологии. 2016;(2):14-23. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2016-2-14-23>.
Protasov S.I., Poklonov D.A. Experimental research and feasibility study for the use of GD-300 hydromonitors in Kuzbass mines. *Gornye nauki i tekhnologii*. 2016;(2):14-23. (In Russ.). <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2016-2-14-23>.
 19. Гефт Ю.Б. Некоторые результаты исследований гидромониторной выемки на действующих гидрошахтах Кузбасса. В кн.: Вопросы гидравлической добычи угля. Труды ВНИИГидроугля. Выпуск XII. Новокузнецк, 1968. С. 87-89.
 20. Оборудование и технологические схемы для подземной гидравлической добычи угля: каталог. М.: ЦНИЭИуголь, 1990. 71 с.
 21. Результаты работы гидрошахт в Кузбассе за 1987 год. Новокузнецк: ВНИИГидроуголь, 1988. 100 с.
 22. Keleman A. Reducing Coal Dust at the Face. *Mining Congress Journal*. 1971;47(9):112-6.
 23. Nikonov G.P. Research into the Cutting of Coal by Small Diameter High Pressure WaterJets, Proceedings 12th Symposium RockMechanics, University of Missouri at Rolla, Nov. 1970.
 24. Surender Kumara, Vijay Dwivedib, Sanjeev Kumar. Hydro Jet System for Coal Mining. National Conference on Eco friendly Manufacturing for Sustainable Development. November 19-21, 2010, GLA University, Mathura, U.P., India.

Authors Information

Fryanov V.N. – Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Departments of Geotechnology, Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, 654007, Russian Federation

Nikitenko S.M. – Doctor of Economic Sciences, Associate Professor, Chief Researcher of the Laboratory of Coal Engineering, Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo, 650065, Russian Federation, e-mail: nsm.nis@mail.ru

Pavlova L.D. – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of Applied Mathematics and Computer Science, Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, 654007, Russian Federation, e-mail: ld_pavlova@mail.ru

Malakhov Yu.V. – PhD (Engineering), Lead Engineer, Laboratory of Coal Engineering Science, Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo, 650065, Russian Federation, Senior Researcher, Laboratory Geotechnological risks in the development of gas-bearing coal and ore deposits, Institute of problems of comprehensive exploitation of mineral resources them academician N.V. Melnikov Russian Academy of Sciences, Moscow, 111020, Russian Federation, e-mail: yv.malakhov@mail.ru

Shmakov I.K. – Postgraduate, Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, 654007, Russian Federation

Информация о статье

Поступила в редакцию: 15.09.2024

Поступила после рецензирования: 21.10.2024

Принята к публикации: 31.10.2024

Paper info

Received September 15, 2024

Reviewed October 21, 2024

Accepted October 31, 2024