

Научная статья

УДК 622.062

DOI: 10.26730/1816-4528-2023-6-60-69

Малахов Юрий Валентинович^{1,2,4*}, Никитенко Сергей Михайлович^{1,4},
Фрянов Виктор Николаевич³

¹Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук

²Институт проблем комплексного освоения недр им академика Н.В. Мельникова Российской академии наук

³Сибирский государственный индустриальный университет

⁴Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

*E-mail: yv.malakhov@mail.ru

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ ОБРУШЕНИЙ ПОРОД КРОВЛИ ПРИ ПРОХОДКЕ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК



Информация о статье

Поступила:

15 ноября 2023 г.

Одобрена после

рецензирования:

30 ноября 2023 г.

Принята к печати:

01 декабря 2023 г.

Опубликована:

21 декабря 2023 г.

Ключевые слова:

механизированная шагающая крепь, проходческий комплекс, механизация проходческих работ, проходческий цикл, цикл передвижки, темпы проходки, скоростная проходка, горная выработка, подготовительная выработка, горно-геологические условия, предотвращение рисков, обрушение кровли выработки, временная предохранительная крепь, обоснование технических параметров, гидрофицированная шагающая временная крепь, горная выработка

Аннотация.

При проходке подземных горных выработок в угольных шахтах периодически возникают горно-геологические риски, которые могут привести к аварийным происшествиям и инцидентам, остановкам технологического процесса проведения подземной выработки. Одним из способов предотвращения этих опасных событий в зонах работы персонала и расположения горных машин и оборудования является установка временной предохранительной крепи в забое выработки.

Применение шагающей временной крепи в подготовительном забое происходит за счет попеременного циклического шагания двухсекционной конструкции крепи и поочередного восприятия горного давления ее перекрытием; создается опережающая временная поддержка, что значительно снижает риск обрушения пород кровли.

Авторами статьи проведены исследования действующих нагрузок на гидрофицированную шагающую крепь в подготовительной выработке и численное моделирование напряжений и деформаций угольного пласта и вмещающих пород в окрестности подготовительного забоя. Выявлены закономерности интенсификации смещений пород кровли и нормативной нагрузки на крепь выработки при увеличении расстояния от забоя.

Целью статьи является разработка методического подхода по обоснованию технических параметров гидрофицированной шагающей крепи для создания временной поддержки пород кровли вблизи подготовительного забоя, предотвращающих риск обрушения.

Для цитирования: Малахов Ю.В., Никитенко С.М., Фрянов В.Н. Предотвращение горно-геологических рисков обрушений пород кровли при проходке подземных горных выработок // Горное оборудование и электромеханика. 2023. № 6 (170). С. 60-69. DOI: 10.26730/1816-4528-2023-6-60-69, EDN: PSXJHZ

Введение. В современных условиях без комплексного учета конкретных горно-геологических условий [1], характерных для угольных месторождений и закономерно меняющихся в процессе ведения горных работ, невозможно обеспечить эффективную и безопасную добычу угля. Одним из основных технологических процессов в угольных шахтах является проведение подземных подготовительных горных выработок.

Мировой опыт подтверждает, что проходческие работы сопровождаются высокими рисками инцидентов и аварийных происшествий, что требует поиска средств надежного временного опережающего крепления забоя выработок.

При проходке подземных выработок в угольных шахтах следует предотвратить горно-геологические риски, приводящие к аварийным происшествиям и инцидентам, связанные прежде всего с характеристиками, определяющими обрушаемость пород кровли, опасностью горных ударов, опасностью внезапных выбросов и нарушенностью пласта [2]. Для оценки риска остановки технологического процесса проведения подземной выработки с использования проходческого комбайна следует учитывать технологические риски, которые могут повлечь аварийные происшествия или инциденты, связанные с техническими параметрами и конструктивной особенностью технического устройства, обеспечивающего временное предохранительное крепление забоя выработки.

Процесс проведения подземных выработок связан с пространственным и временным изменением напряженно-деформированного состояния массива горных пород и элементов крепи. В окрестности проходческого забоя возникают зоны повышенного горного давления, происходят разрушения краевых участков угольного пласта и обрушения пород кровли [3]. Одним из способов предотвращения этих опасных событий в зонах работы подземного персонала и расположения горных машин и оборудования является создание предохранительного крепления.

Предохранительное временное крепление проходческого забоя. В настоящее время в проходческих забоях для предотвращения обрушений пород кровли на шахтах широко применяются предохранительные временные крепи различных конструкций. На Рис. 1 показан один из известных вариантов конструкции временной предохранительной крепи в виде металлического профиля и анкера. Временная крепь горизонтальных выработок создает предохранительное поддержание пород кровли в призабойной части выработки до возведения постоянной крепи, тем самым предотвращается риск обрушений пород кровли выработки над проходческим комбайном.

Необходимость установки данной временной предохранительной крепи регламентируется документами по безопасности и технической документацией на проведение и крепление выработок. При этом на нормативно-техническом уровне требования к конструкции и методика расчета нормативной несущей способности к данной конструкции временной крепи не установлены.

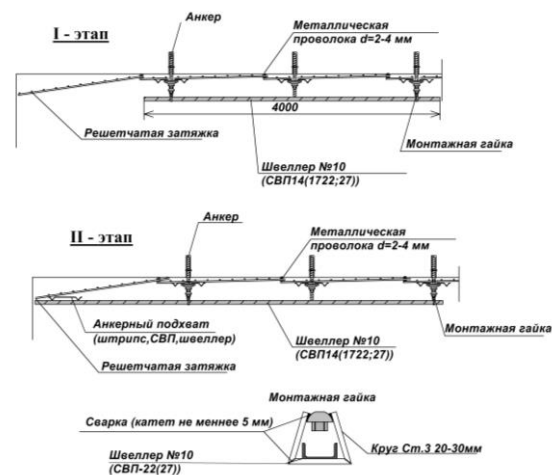


Рис. 1. Конструкция временной предохранительной крепи

Fig. 1. Construction of temporary safety support

Каждая из конструкций временной крепи имеет определенные достоинства и недостатки [4-6], среди которых особо выделяются высокая трудоемкость и травмоопасность. Отмечено, что почти во всех случаях для возведения временной или постоянной крепи требуется прерывание процесса выемки угля, что снижает темп проходческих работ.

Авторы считают, что одним из перспективных решений повышения эффективности и безопасности проходческих работ является гидрофицированная крепь шагающего типа, которая позволяет создать временное безопасное крепление призабойного пространства над проходческим комбайном и позволяет производить анкерное крепление выработки без остановки комбайна и вне зоны его работы [7, 8].

Гидрофицированная шагающая крепь для проходки. Для создания механизированной поддержки кровли выработки, исключения вынужденных остановок проходческого комбайна при

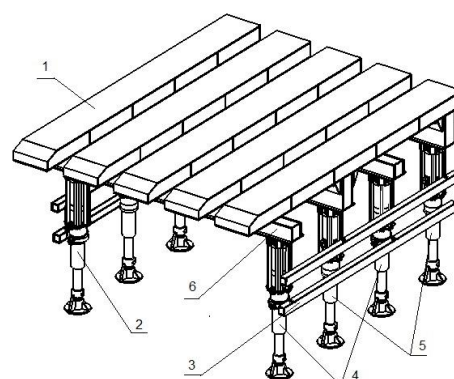


Рис. 2. Конструкция гидрофицированной крепи шагающего типа для проходки

Fig. 1. Construction of hydrofected support of the walking type for the sinking of mine workings

1 – балки перекрытия, 2 – гидравлическая стойка, 3 – боковое ограждение, 4 – секция передовая, 5 – секция отступающая, 6 – траверса

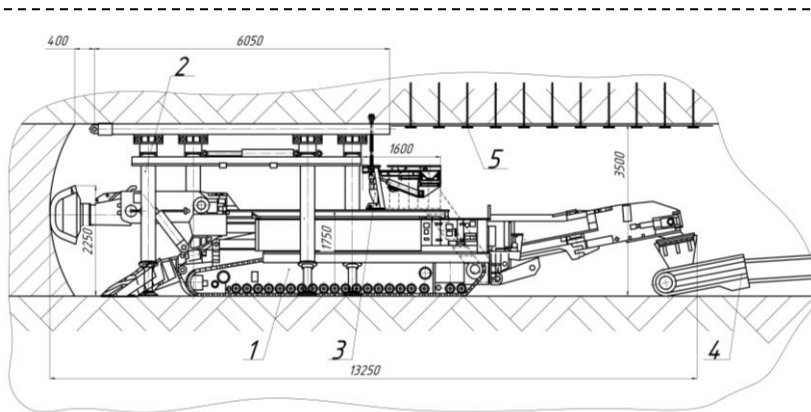


Рис. 3. Схема совместной работы проходческого комбайна и гидрофицированной шагающей крепи

Fig. 3. Scheme of joint work of a tunneling combine and a hydrofied walking support

устройстве конструкции временной крепи предложено использовать гидрофицированную циклически-шагающую крепь [9].

Гидрофицированная крепь шагающего типа (рис. 2) в горной выработке создает опережающую временную поддержку пород кровли за счет попеременного циклического шагания двухсекционной конструкции крепи и поочередного восприятия горного давления от массива пород кровли ее секциями, что обеспечивает ограждение и защиту рабочего пространства от проникновения обрушающихся пород кровли.

При этом шагающая крепь перемещается вслед за комбайном, выемка горной массы производится под защитой перекрытия крепи, что обеспечивает гарантированную безопасность проходческих работ и увеличивает скорость проведения выработок. На Рис. 3 приведена схема работы проходческого комбайна под защитой шагающей крепи в забое подготовительной выработки.

Согласно предложенной схеме, проходческий комбайн 1 под защитой перекрытия шагающей крепи 2 производит разрушение горного массива. Призобойная часть выработки поддерживается перекрытием секций шагающей крепи 2, создавая временное предохранительное крепление и образуя безопасное рабочее пространство, при этом буровой станок с анкероустановщиком 3 также размещен под

перекрытием шагающей крепи 2 в стороне пройденной выработки, что позволяет одновременно с выемкой горной массы производить постоянное крепление 5 кровли и боков выработки. Транспортировка отбитой горной массы осуществляется транспортным средством 4 в зоне выработки с постоянной крепью.

Одной из актуальных научных задач при создании шагающей временной крепи является определение ее оптимальных технических параметров, обеспечивающих поддержку кровли в проходческом забое и достаточных для восприятия возникающих нагрузок от пород

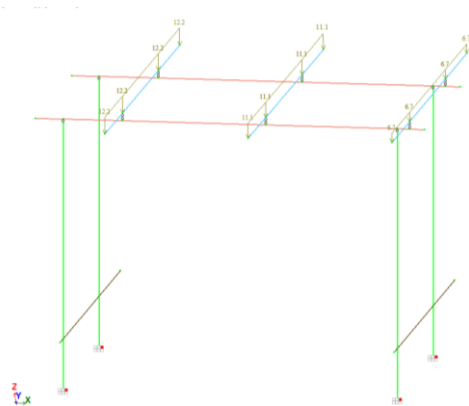


Рис. 4. Схема приложения нагрузок на секцию гидрофицированной шагающей крепи

Fig. 4. Scheme of application of loads on a section of hydrofied walking support

кровли. При этом существенным техническим решением для эксплуатации подземного забойного оборудования является уменьшение металлоемкости [10] и энергоемкости конструкции и элементов крепи.

Исследования действующих нагрузок на гидрофицированную шагающую крепь в подготовительной выработке. На примере горно-геологических условий проведения подготовительных горных

выработок по пласту Лутугинский шахты «Южная» АО «СДС-Уголь» (г. Кемерово) с использованием методики, основанной на формировании свода естественного равновесия выработки [11], пройденной в массиве, был проведен прогноз расчетной нагрузки на гидрофицированную шагающую крепь выработки.

В ходе исследований было определено, что значение нагрузки со стороны кровли в заданных

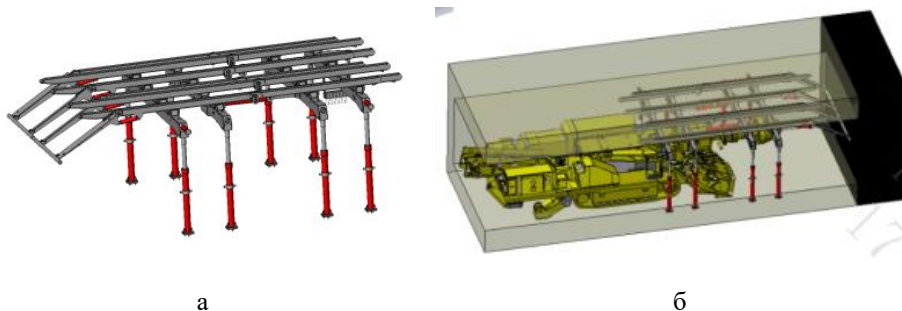


Рис. 5. Разработка Тайюаньского научно-исследовательского института CCTEG (Kumai)

Fig. 5. Development of the Taiyuan Research Institute CCTEG (China)
а – временный опорный кронштейн для проходческих работ, б – модель совместного применения временного опорного кронштейна и проходческого комбайна в проходческом забое

условиях шахты «Южная» (филиал АО «Черниговец») на несущие элементы шагающей крепи для скоростной проходки выработок составило 243,1 кН/м.

1. Перекрестное расположение опорных групп кронштейна, что обеспечивает шагающее движение. При движении кронштейна всегда обеспечивается поддержка кровли одним комплектом потолочного

Таблица 1. Технические параметры временного опорного кронштейна для проходческих работ
Table 1. Technical parameters of the temporary support bracket for tunneling

Модель кронштейнов	Тип конструкции	Высота опоры, мм	Рабочее сопротивление, кН	Допустимая нагрузка, МПа	Вес кронштейна, т
ZJCQ2×900/23/35	Двухступенчатая опорная группа с перекрестным шагом	2300-3500	2×900	0,036	12,5
ZJCQ2×1000/25/39		2300-3900	2×1000	0,045	13,5
ZJCQ2×1100/24/37		2400-3700	2×1100	0,055	13

Для секции шагающей крепи с размерами 5,1 м по ширине и 6,5 м по длине были приняты (интегрированы) нагрузки с грузовых площадей шириной 2,08; 1,88 и 1,14 м и приложены в виде погонной равномерно распределенной нагрузки к балкам перекрытия (рис. 4).

Было установлено, что нагрузка со стороны кровли на 1 квадратный метр для данной выработки составляет 47,7 кН/м и нагрузка на 1 стойку каркаса секции шагающей крепи – 182,5 кН или 18,6 т.

Полученные результаты значений полной нагрузки в заданных условиях шахты «Южная» (филиал АО «Черниговец») были использованы для выбора параметров гидравлических стоек и расчета сечений опорных конструкций секции шагающей крепи. Расчеты показали, что согласно ряду основных параметров [12] рекомендуется использовать для стоек шагающей крепи гидравлический цилиндр двухстороннего действия с диаметром поршня 280 мм, диаметром штока – 140 мм в количестве 4 шт. в секции.

Альтернативные решения для обеспечения безопасности работ в зоне проходческого забоя. В рамках научных исследований Китайская группа по угольной науке и технологиям «Тайюаньский научно-исследовательский институт Co., Ltd.» (China Coal Science and Industry Group Co., Ltd.) [13] предложила для решения проблем поддержки кровли устойчивой и средней устойчивости при проходческих работах временный опорный кронштейн для проходческих работ (Рис. 5).

Временный опорный кронштейн состоит из двухступенчатой усовершенствованной опорной группы, которые создают механизированную временную опору кровли выработки на длине 10 метров. По мнению китайских разработчиков, данное техническое устройство обеспечивает безопасную и эффективную работу высокопроизводительного проходческого оборудования путем снижения трудоемкости, обеспечивает повышение безопасности горнорабочих и проходческого оборудования, а также выполняет функциональную роль по контролю деформации выработки в рабочей зоне выемки горной массы.

Согласно техническому описанию к перспективным техническим особенностям временного опорного кронштейна, предложенного китайскими разработчиками, относятся:

перекрытия.

2. Конструкция кронштейна позволяет горнорабочим устанавливать постоянную анкерную крепь и обеспечивает безопасное рабочее пространство для проходческого комбайна.

3. В конструкции балок потолочного перекрытия используется шарнир с двумя отверстиями, что повышает адаптируемость к изменениям рельефа кровли.

4. Временный опорный кронштейн и проходческий комбайн работают независимо, не мешая друг другу, обеспечивая надежную работу в зоне забоя, быстрое и удобное перемещение по выработке.

5. Временный опорный кронштейн обеспечивает передвижение в зону выемки горной массы, где отсутствует поддержка, путем создания временной расширенной поддержки и далее создает постоянную поддержку, что оптимизирует цикл проходческих работ по выемке горной массы и поддержке кровли и в целом упрощает процесс создания поддержания обнаженных пород кровли вблизи забоя. Снижается риск обрушения пород кровли и трудоемкость работ при повышении их безопасности. В целом достигается быстрое, безопасное и эффективное продвижение проходческого забоя.

Авторы отмечают сопоставимость выводов китайских исследователей по достижению безопасных условий проведения проходческих работ при применении конструкции шагающей крепи с опубликованными отечественными научными исследованиями в [14-16].

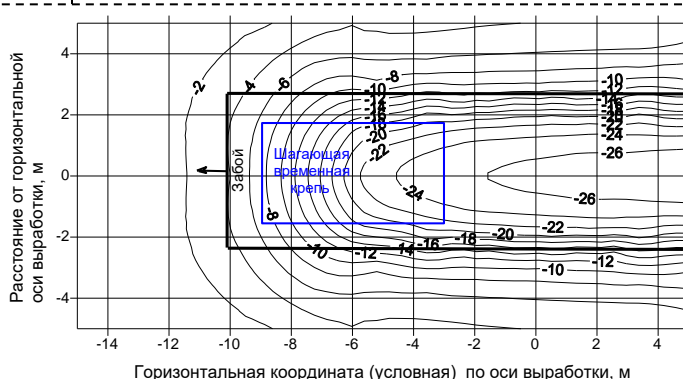


Рис. 6. Изолинии распределения упругих вертикальных смещений пород кровли, мм

Fig. 6. Isolines of distribution of elastic vertical displacements of roof rocks, mm

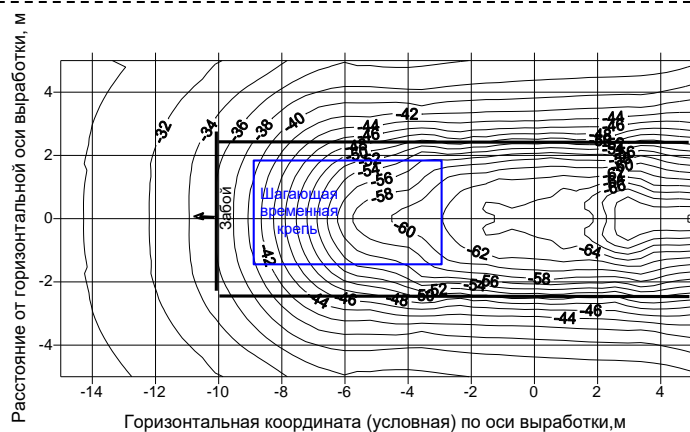


Рис. 7. Изолинии распределения упруго-пластических вертикальных смещений пород кровли, мм

Fig. 7. Isolines of distribution of elastic-plastic vertical displacements of roof rocks, mm

Основные технические параметры модификаций временного опорного кронштейна для проходческих работ представлены в Таблице 1.

Режим работы временного опорного кронштейна - ручное дистанционное управление.

Установлено, что каждая опорная группа данного временного кронштейна опирается на 4 гидравлические телескопические стойки двойного действия с рабочим сопротивлением каждой стойки 225 кН или 22,9 т, при этом диаметр поршня составляет 100 мм, а диаметр штока 80 мм.

Авторы предполагают, что китайские исследователи при подборе параметров гидроцилиндров стоек учитывали не полную расчетную нагрузку, действующую со стороны кровли на опорную группу временного опорного кронштейна в забойной зоне выработке, а лишь часть от нормативной.

Методический подход определения параметров шагающей временной крепи вблизи подготовительного забоя. Используя программный комплекс [17-19] посредством решения 3D задачи численного моделирования авторами был проведен расчет напряжений и деформаций угольного пласта и вмещающих пород в окрестности подготовительного забоя по заданным исходным данным.

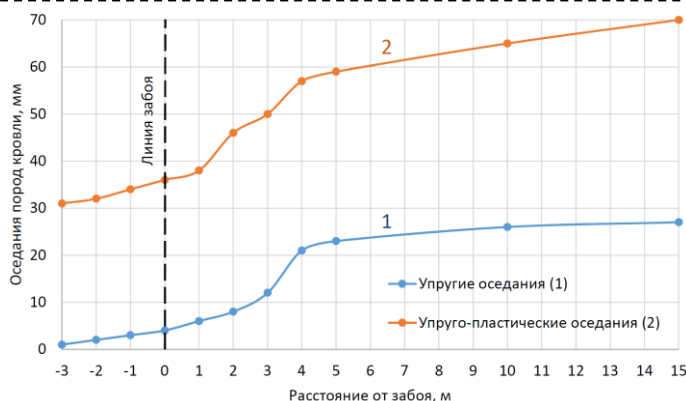


Рис. 8. Графики изменения упругих (1) и упругопластических (2) оседаний пород кровли на разных расстояниях от забоя подготовительной выработки

Fig. 8. Graphs of changes in elastic (1) and elastic-plastic (2) subsidence of roof rocks at different distances from the bottom of the preparatory work

По результатам моделирования установлено, что смещения пород кровли в заданной точке вблизи забоя постепенно увеличивается по мере его подвигания. На рис. 6 показаны изолинии распределения упругих оседаний пород непосредственной кровли, а на рисунке 7 нелинейных упруго-пластических смещений на разных расстояниях от подготовительного забоя.

Зависимость величин оседаний пород кровли от расстояния до забоя была построена в виде графика и представлена на Рис. 8. На графиках отчетливо выявляется закономерность роста смещений при увеличении расстояния от подготовительного забоя в сторону устья выработки, наряду с этим наиболее интенсивно увеличиваются смещения пород кровли на расстояниях 0–5 м от подготовительного забоя (Рис. 8).

Для обобщения выявленной закономерности изменения смещений пород кровли вблизи подготовительного забоя использовано отношение величин оседаний кровли в окрестности забоя к максимальным оседаниям кровли в протяженной выработке, то есть на расстоянии более зоны опорного давления, примерно 0,2 глубины разработки [20].

Далее были построены графики отношения изменений оседаний пород кровли в зависимости от отношения расстояния до забоя (Рис. 9), то есть:

$$q_y = \frac{w_y}{w_{y\max}} \quad (1)$$

$$q_{\text{уп}} = \frac{w_{\text{уп}}}{w_{\text{уп}\max}} \quad (2)$$

где w_y — вычисленные упругие оседания пород кровли в окрестности подготовительного забоя выработки, м;

$w_{y\max}$ — максимальные упругие оседания пород кровли в выработке, м;

q_y — отношение упругих оседаний пород кровли в окрестности подготовительного забоя выработки к максимальным упругим оседаниям пород кровли в выработке;

$w_{\text{уп}}$ — упруго-пластические оседания пород кровли в окрестности подготовительного забоя выработки, м;

$w_{\text{уп}\max}$ — максимальные упруго-пластические оседания пород кровли в выработке, м;

$q_{\text{уп}}$ — отношение упруго-пластических оседаний пород кровли в окрестности подготовительного забоя выработки к максимальным упруго-пластическим оседаниям пород кровли в выработке.

Согласно графикам (Рис. 9) при большой скорости подвигания подготовительного забоя, когда реализуются в основном только упругие деформации, смещения пород кровли вблизи забоя в 2,0–2,5 раза меньше смещений при остановленном забое, когда вмещающие выработку породы переходят в стадию нелинейного деформирования.

На основании представленных на Рис. 6–9 графиков и результатов вычислительного

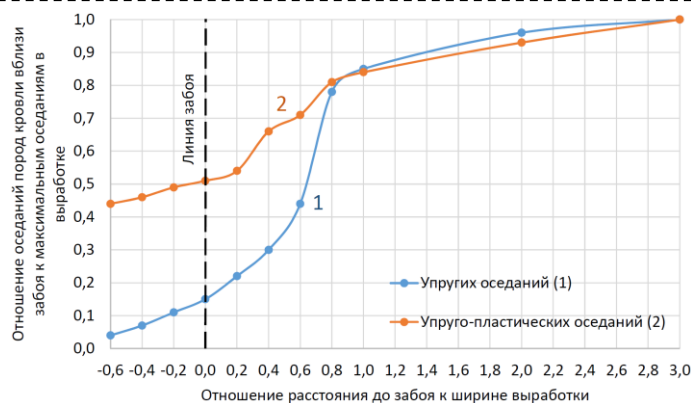
эксперимента авторами обоснован методический подход определения параметров крепи вблизи подготовительного забоя. Для заданных горно-геологических и горнотехнических условий по действующим методическим документам [20–22] осуществляется прогноз максимальных смещений пород кровли U_{\max} для протяженной выработки при сроке службы выработки меньше одного года. По графикам рисунка 10 при известном расстоянии от забоя определяются отношения q_y и $q_{\text{уп}}$ оседаний пород кровли вблизи подготовительного забоя и максимальных оседаний. Окончательно смещения пород кровли на расстоянии X от забоя определяются по формулам: при скоростной проходке

$$U_x = U_{\max} q_y; \quad (3)$$

при вероятных остановках забоя

$$U_x = U_{\max} q_{\text{уп}} \quad (4)$$

По величинам смещений U_x определяется нормативная нагрузка на крепь, величина которой распре-



1 – упругие смещения; 2 – упругопластические смещения
Рис. 9. Зависимости отношения оседаний пород кровли вблизи подготовительного забоя и максимальных оседаний в выработке от расстояния до забоя

Fig. 9. Dependences of the ratio of subsidence of roof rocks near the preparatory face and maximum subsidence in the development from the distance to the face

деляется по точкам вблизи забоя пропорционально отношениям q_y и $q_{\text{уп}}$.

Таким образом, при скоростной проходке нормативная нагрузка на временную шагающую крепь вблизи забоя может быть снижена в 1,5–3 раза по сравнению с нагрузкой при периодических остановках подготовительного забоя.

Заключение. На основании вышеизложенного материала можно сделать следующий вывод: применение шагающей временной крепи в подготовительном забое за счет попеременного циклического шагания двухсекционной конструкции крепи и поочередного восприятия горного давления ее перекрытием создается опережающая временная поддержка, что снижает риск обрушения пород кровли.

Предложенный авторами методический подход, основанный на численном моделировании напряжений и деформаций угольного пласта и вмещающих пород в окрестности подготовительного забоя и

выявленной закономерности уменьшения смещений пород кровли и нормативной нагрузки на крепь вблизи забоя, позволяет обосновать технические параметры шагающей крепи для создания временной поддержки пород кровли в виде рекомендации: при скоростной проходке нормативная нагрузка на временную крепь вблизи забоя может быть снижена в 1,5–3 раза по сравнению с нагрузкой при периодических остановках подготовительного забоя. Однако для подтверждения результатов моделирования, учета влияния временного фактора на устойчивость пород кровли горной выработки необходимо провести дополнительные исследования для выявления закономерностей смещений пород кровли при изменчивости физико-механических свойств угленосного массива в конкретных горно-геологических условиях и разных режимах распора гидростоек шагающей крепи.

Благодарности

Статья подготовлена в рамках грант Минобрнауки России (Соглашение № 075–15-2022-1190).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трубецкой К. Н. [и др.] Комплексное освоение месторождений и глубокая переработка минерального сырья. Институт проблем комплексного освоения недр РАН. Москва : Академический научно-издательский, производственно-полиграфический и книгораспространительский центр Российской академии наук «Издательство "Наука"», 2010. 437 с. ISBN 978-5-02-036926-9. EDN QMZAAY.
2. Никитенко С. М. [и др.] Обеспечение безопасности при внедрении новых технологий в проходческих и очистных забоях // Устойчивое развитие горных территорий. 2022. Т. 14. № 4(54). С. 615–622. DOI 10.21177/1998-4502-2022-14-4-615-622. EDN VKOJLY.
3. Булычев Н. С. [и др.] Проектирование и расчет крепи капитальных выработок. М. : Недра, 1986. 288 с.
4. Зайнуллин А. А. [и др.] Оценка способов поддержания горных выработок на основе применения анкерной крепи на шахтах Карагандинского угольного бассейна // Уголь. 2021. №2 (1139). С. 4–9.
5. Клишин В. И. [и др.] Исследование взаимодействия многофункциональной шагающей крепи с массивом горных пород при проведении подземных выработок // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2021. №3. С. 3–12.
6. Розенбаум М. А. [и др.] Результаты промышленных испытаний способа скоростного проведения подготовительных выработок на шахтах Кузбасса // Маркшейдерия и недропользование. 2015. №1. С.43–49.
7. Клишин В. И. [и др.] Разработка технических требований к механизированной шагающей крепи в составе горнопроходческого комплекса // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов: научный журнал. Новокузнецк : СибГИУ, 2020. № 6. С.125–131.

8. Патент 2724816, РФ, МПК E21D 11/00, E21D 19/04, E21C 41/16, E21D 23/00. Способ проведения подготовительной горной выработки и механизированная крепь для его осуществления / Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук», В. И. Клишин, Б. А. Анферов, Л. А. Кузнецова, С. М. Никитенко, Ю. В. Малахов, С. И. Мефодьев. Оpubл. В Б.И., 2020. № 18.

9. Клишин В. И., Малахов Ю. В. Разработка и обоснование параметров многофункциональной шагающей крепи // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов: научный журнал. СибГИУ, ISSN 2311-8342, г. Новокузнецк, 2019 г. № 5. С. 125–131.

10. Черных Н. Г. Основные требования к созданию горных машин с учетом функционального показателя качества // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов : Сборник научных статей Международной научно-практической конференции, Новокузнецк, 05–06 июня 2012 года. Сибирский государственный индустриальный университет. Под общей редакцией профессора В. Н. Фрянова. Новокузнецк: Сибирский государственный индустриальный университет, 2012. С. 103–106. EDN SGUMTT.

11. Цимбаревич П. Н. Механика горных пород. М. : Углетехиздат, 1948. 184 с.

12. ГОСТ 6540-68 Гидроцилиндры и пневмоцилиндры. Ряды основных параметров. М. : Издательство стандартов, 1991. 6 с.

13. Китайская группа по угольной науке и технологиям Тайюаньский научно-исследовательский институт Co., Ltd. <https://tuceri.ccteg.cn> [электронный ресурс] (дата обращения 05.11.2023).

14. Клишин В. И. Обоснование технологий разработки мощных пологих и крутых угольных пластов с выпуском угля– ГИАБ, отдельный выпуск №6. 2013. С. 36–47.

15. Клишин В. И., Никитенко С. М. Эффективные технологии отработки мощных угольных пластов. Системы автоматизации в образовании, науке и производстве : Труды XI Всероссийской научно-практической конференции / Сиб. гос. индустр. ун-т ; под общ. Редакцией С. М. Кулакова, Л.П.

Мышляева. Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2017. С. 256–259.

16. Малахов Ю. В. Обоснование параметров многофункциональной механизированной шагающей крепи : специальность 05.05.06 «Горные машины» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Малахов Юрий Валентинович, 2022. – 170 с. EDN JKDOLY.

17. Павлова Л. Д. Моделирование предразрушения горных пород под влиянием микросейсмических воздействий на геомассив в окрестности подземных горных выработок и угольных целиков / Л. Д. Павлова, В. Н. Фрянов // Система автоматизации (в образовании, науке и производстве) AS'2022: труды всеросс. науч.-практ. конф., 15-16 декабря 2022 г., Сибирский государственный индустриальный университет. Новокузнецк : СибГИУ, 2022. С. 400–406.

18. Фрянов В. Н. Научное обоснование технологической схемы роботизированной шахты с использованием оборудования подземной гидродобычи/В.Н. Фрянов, Л. Д. Павлова//Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. -2019. -№5. - С.244-250.

19. 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 интелект. собств.; Дата регистр. 30 июля 2020.

20. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по прогнозу динамических явлений и мониторингу массива горных пород при отработке угольных месторождений». Серия 05. Выпуск 49. М. : ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2020. 148 с.

21. Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах. М. : Издательство «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2011. 216 с.

22. Инструкция по выбору рамных податливых крепей горных выработок ВНИМИ, СПб. : 1991. 125 с. <http://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293804/4293804178.htm>.

© 2023 Автор. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Малахов Юрий Валентинович, кандидат техн. наук., Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук», (650000, Россия, г. Кемерово, проспект Советский, 18), Институт проблем комплексного освоения недр им академика Н.В. Мельникова Российской академии наук, (111020, г. Москва, Крюковский тупик, д.4), Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), E-mail: yv.malakhov@mail.ru

Никитенко Сергей Михайлович, доктор эконом. наук, Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук», (650000, Россия, г. Кемерово, проспект Советский, 18), Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28)

Фрянов Виктор Николаевич, Сибирский государственный индустриальный университет, (654007, Россия, Кемеровская область, г. Новокузнецк, ул. Кирова 42)

Заявленный вклад авторов:

Малахов Ю.В. – научный менеджмент, обзор соответствующей литературы, сбор и анализ данных, написание текста.

Никитенко С.М. – постановка исследовательской задачи, научный менеджмент, концептуализация исследования, выводы, написание текста.

Фрянов В.Н. – постановка исследовательской задачи, научный менеджмент, концептуализация исследования, сбор и анализ данных, выводы, написание текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

DOI: 10.26730/1816-4528-2023-6-60-69

Yury V. Malakhov^{1,2,4*}, Sergey M. Nikitenko^{1,4} Vladimir N. Fryanov³

¹Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

²Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources Russian Academy of Sciences

³Siberian State Industrial University

⁴T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

*E-mail: yv.malakhov@mail.ru

PREVENTION OF MINING AND GEOLOGICAL RISKS OF ROOF ROCK COLLAPSES DURING UNDERGROUND MINING



Article info

Received:

15 November 2023

Accepted for publication:

30 November 2023

Accepted:

01 December 2023

Published:

21 December 2023

Keywords: mechanized walking support, tunneling complex, mechanization of tunneling works, tunneling cycle, cycle of movement, rates of penetration, high-speed penetration, mining, preparatory development, mining and geological conditions, risk prevention, collapse of the roof of the mine, temporary safety support, justification of technical parameters, hydrofected

Abstract.

Mining and geological risks periodically arise during the penetration of underground mine workings in coal mines, which can lead to accidents and incidents, stoppages of the technological process of underground mining. One of the ways to prevent these dangerous events in the work areas of personnel and the location of mining machinery and equipment is to install a temporary safety support in the bottom of the mine.

The use of a walking temporary support in the preparatory face due to the alternating cyclic walking of the two-section construction of the support and the alternate perception of the mountain pressure by its overlap, an advanced temporary support is created, which significantly reduces the risk of collapse of the roof rocks.

The authors of the article conducted studies of the acting loads on the hydrofected walking support in the preparatory development and numerical modeling of stresses and deformations of the coal seam and host rocks in the vicinity of the preparatory face. The patterns of in are revealed.

The purpose of the article is to develop a methodological approach to substantiate the technical parameters of a hydrofied walking support to create temporary support for roof rocks near the preparatory face, preventing the risk of collapse.

For citation: Malakhov Yu.V., Nikitenko S.M., Fryanov V.N. Prevention of mining and geological risks of roof rock collapses during underground mining. *Mining Equipment and Electromechanics*, 2023; 6(170):60-69 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2023-6-60-69, EDN: PSXJHZ

REFERENCES

1. Trubetskoy K.N. [et al.] Complex development of deposits and deep processing of mineral raw materials. Institute of Problems of Complex Development of Mineral Resources of the Russian Academy of Sciences. Moscow: Publishing House "Nauka"; 2010. 437 p. ISBN 978-5-02-036926-9. EDN QMZAAY.
2. Nikitenko S.M. [et al.] Ensuring safety during the introduction of new technologies in tunneling and treatment faces. *Sustainable development of mountain territories*. 2022; 144(54):615–622. DOI 10.21177/1998-4502-2022-14-4-615-622. EDN BKOJIY.
3. Bulychov N.S. [et al.] Design and calculation of capital workings. M.: Nedra, 1986. 288 p.
4. Zainullin A.A. [et al.] Evaluation of ways to support mining operations based on the use of anchorage in the mines of the Karaganda coal basin. *Coal*. 2021; 2 (1139):4–9.
5. Klishin V.I. [et al.] Investigation of the interaction of multifunctional walking support with the mass of rocks during underground excavation. *Physico-technical problems of the development of useful minerals*. 2021; 3:3–12.
6. Rosenbaum M.A. [et al.] Results of industrial tests of the method of high-speed carrying out of preparatory workings at the Kuzbass mines. *Surveying and subsoil use*. 2015; 1:43–49.
7. Klishin V.I. [et al.] Development of technical requirements for a mechanized walking support in the mining complex. High-tech technologies for the development and use of mineral resources: scientific journal. Novokuznetsk: SibGIU; 2020; 6:125–131.
8. Patent 2724816, RF, IPC E21D 11/00, E21D 19/04, E21C 41/16, E21D 23/00. Method of conducting preparatory mining and mechanized support for its implementation / Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences", V.I. Klishin, B.A. Anferov, L.A. Kuznetsova, S.M. Nikitenko, Yu.V. Malakhov, S.I. Metodiev. Publ. In B.I., 2020. No. 18.
9. Klishin V.I., Malakhov Yu.V. Development and justification of parameters of multifunctional walking support – High-tech technologies of development and use of mineral resources: scientific journal. SibGIU, ISSN 2311-8342, Novokuznetsk, 2019. No. 5. Pp. 125–131.
10. Chernykh N.G. Basic requirements for the creation of mining machines taking into account the functional quality indicator. *High-tech technologies for the development and use of mineral resources* : Collection of scientific articles of the International Scientific and Practical Conference. Novokuznetsk, 05-06 June 2012 / Siberian State Industrial University; Under the general editorship of Professor V.N. Fryanov. Novokuznetsk: Siberian State Industrial University; 2012. Pp. 103–106. EDN SGUMTT.
11. Tsimbarevich, P.N. Mechanics of rocks. M.: Ugletekhizdat; 1948. 184 p.
12. GOST 6540-68 Hydraulic cylinders and pneumatic cylinders. Series of basic parameters. Moscow: Publishing House of Standards; 1991. 6 p.
13. China Coal Science and Technology Group Taiyuan Research Institute Co., Ltd. <https://tyccri.ccteg.cn> [electronic resource] (accessed 05.11.2023).
14. Klishin V.I. Substantiation of technologies for the development of powerful shallow and steep coal plats with the release of coal. *GIAB*. 2013; 6:36–47.
15. Klishin V.I., Nikitenko S.M. Effective technologies for mining powerful coal seams. Automation systems in education, science and production : Proceedings of the XI All-Russian Scientific and Practical Conference / Sib. gos. industry. un-t ; under total. Edited by S.M. Kulakov, L.P. Myshlyeva. Novokuznetsk: SibGIU Publishing Center; 2017. Pp. 256–259.
16. Malakhov, Yu. V. Substantiation of parameters of multifunctional mechanized walking support: specialty 05.05.06 "Mountain tires" : dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences. 2022. 170 p. EDN JKDOLY.
17. Pavlova L.D., Fryanov V.N. Modeling of the pre-destruction of rocks under the influence of microseismic impacts on the geomass in the vicinity of underground mine workings and coal targets. Automation system (in education, science and production) AS'2022: proceedings of the All-Russian Scientific.-practical conference, December 15–16, 2022, Siberian State Industrial University. Novokuznetsk: SibGIU; 2022. Pp. 400–406.
18. Fryanov V.N. Scientific substantiation of the technological scheme of a robotic mine using underground hydraulic equipment/ V.N. Fryanov, L. D. Pavlova//High-tech technologies for the development and use of mineral resources. -2019. -No.5. - pp.244-250
19. Certificate of registration of the computer program No. 2020618595. A software package for modeling geomechanical processes in a structurally heterogeneous geomass under the reciprocal influence of a system of underground mining operations.

V.N. Fryanov, L.D. Pavlova, A.B. Tsvetkov; FGBOU IN Sib. state. industry. un-T. Fed. intelligence service. own; Date register. July 30, 2020.

20. Federal norms and rules in the field of industrial safety "Instructions for the diagnosis of dynamic phenomena and monitoring of rock mass during mining of coal deposits". Episode 05. Issue 49. Moscow: CJSC "Scientific and Technical Center for Research on Industrial Safety Problems"; 2020. 148 p.

21. Instructions on the rational location, protection and maintenance of mine workings at coal mines. M.: Publishing house "Gornoe delo" LLC "Kimmeriyskiy center"; 2011. 216 p.

22. Instructions for the selection of frame pliable supports of mining workings VNIMI, St. Petersburg.: 1991; 125 p. <http://files.stroy-inf.ru/Data2/1/4293804 / 4293804178.htm>.

© 2023 The Author. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The author declares no conflict of interest.

About the author:

Yury V. Malakhov^{1,2,4*}, C. Sc. in Engineering, Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, (650000, Russia, Kemerovo, prospect Sovetskiy, 18), Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources Russian Academy of Sciences, (111020, Russia, Moscow, Kryukovsky dead end, 4), T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (650000, Russia, Kemerovo, street Vesenniyaya, 28), e-mail: yv.malakhov@mail.ru

Sergey M. Nikitenko^{1,4} Dr. Sc. in Economics, Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, (650000, Russia, Kemerovo, prospect Sovetskiy, 18)

Vladimir N. Fryanov³, Dr. Sc. in Engineering, Siberian State Industrial University, (654007, Russian Federation, Novokuznetsk, Kemerovo Region – Kuzbass, Kirova, 42)

Contribution of the authors:

Malakhov Yu.V. – scientific management, review of relevant literature, data collection and analysis, text writing.

Nikitenko S.M. – formulation of a research task, scientific management, conceptualization of research, conclusions, writing a text.

Fryanov V.N. – setting a research task, scientific management, conceptualization of research, data collection and analysis, conclusions, writing a text.

Author have read and approved the final manuscript.

