

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТРАВМАТИЗМА В ЛАВАХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

С.Г. Гендлер¹, В.В. Габов¹, Н.В. Бабырь¹, Е.А. Прохорова¹

¹ Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия,
e-mail: Prokhorovaea96@gmail.com

Аннотация: Угледобывающая промышленность относится к виду экономической деятельности, уровень производственного травматизма которой остается недопустимо высоким. Обрушения горных пород являются причиной более 17% случаев смертельного травматизма на угольных шахтах России и второй по распространенности причиной смертельных несчастных случаев. Цель данного исследования — обоснование технических решений по снижению производственного травматизма при внезапных обрушениях и вывалах горных пород в лавах угольных шахт. В работе выполнен анализ производственного травматизма на угольных шахтах АО «СУЭК-Кузбасс», в том числе по видам внезапных обрушений и вывалов горных пород. Обосновано инновационное техническое решение в виде секции механизированной крепи (СМК) с опорной и направляющей балками, позволяющее исключить из причин травматизма несчастные случаи, связанные с внезапными обрушениями и вывалами горных пород при выполнении операций по передвиге СМК, корректировке положений и компенсации недостаточной устойчивости или несущей способности крепи, что приведет к снижению уровня производственного травматизма на 22%. Новизна результатов проведенных исследований состоит в определении структуры риска производственного травматизма в лавах угольных шахт в зависимости от вызывающих его причин технических мероприятий, позволяющих изменить эту структуру, и снизить величину риска.

Ключевые слова: угольные шахты, охрана труда, очистной забой, секция механизированной крепи, обрушение пород, производственный травматизм, динамика риска, риск-ориентированный подход.

Благодарность: Исследование выполнено за счет субсидии на выполнение государственного задания в сфере научной деятельности на 2021 г. № FSRW-2020-0014.

Для цитирования: Гендлер С. Г., Габов В. В., Бабырь Н. В., Прохорова Е. А. Обоснование технических решений по снижению производственного травматизма в лавах угольных шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 1. – С. 5–19. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_1_0_5.

Justification of engineering solutions on reduction of occupational traumatism in coal longwalls

S.G. Gendler¹, V.V. Gabov¹, N.V. Babyr¹, E.A. Prokhorova¹

¹ Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russia,
e-mail: Prokhorovaea96@gmail.com

Abstract: The coal mining industry as an economic activity features an abnormally high level of occupational traumatism. Rock falls are the cause of 17% of fatal cases of occupational traumatism and the second prevailing cause of fatal accidents in coal mines in Russia. This study aims to justify engineering solutions in reduction of occupational traumatism in case of roof caving and rock falls in coal longwalls. The analysis of occupation traumatism, including roof caving and rock fall events, is performed as a case-study of SUEK-Kuzbass coal mines. An innovative engineering design of a powered roof support unit with load-bearing and lead beams enables elimination of traumatism cases connected with roof caving and rock falls during advance of the powered roof support, or in adjustment of the position, insufficient stability and load-bearing capacity of the support, which can reduce the level of occupational traumatism by 22%. The novelty of the research findings consists in structuring of occupational traumatism risks in coal longwalls with regard to the causes, which makes it possible to restructure and reduce the risks.

Key words: coal mines, occupational safety, longwall, powered roof support unit, rock fall, occupational traumatism, risk dynamics, risk-based approach.

Acknowledgements: The study was supported under the state contract for scientific work in 2021, Grant No. FSRW-2020-0014.

For citation: Gendler S. G., Gabov V. V., Babyr N. V., Prokhorova E. A. Justification of engineering solutions on reduction of occupational traumatism in coal longwalls. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(1):5-19. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_1_0_5.

Введение

Ежегодно в мире на рабочих местах происходит около 125 млн несчастных случаев. В среднем погибает около 220 тыс. человек в год. Смертность от травм, полученных на производстве, на сегодняшний день занимает третье место в мире. Согласно статистике странами, в которых несчастные случаи на производстве происходят чаще всего, являются: Япония, Германия, США, Франция и Россия. С начала 2000-х годов в России отмечается тенденция к снижению уровня производственного травматизма как по абсолютным показателям (численности пострадавших в результате несчастных случаев на производстве с потерей трудоспособности на один день и более, численности пострадавших со смертельным исходом), так и по относительным (на 1000 занятых) [1]. Снижение показателей травматизма характерно как

в целом по экономике, так и в отдельных отраслях.

Угледобывающая промышленность относится к виду экономической деятельности, для которой свойственно снижение показателей производственного травматизма. Но, несмотря на положительную динамику, уровень производственного травматизма остается высоким. За последние 20 лет количество случаев смертельного травматизма на 1 млн т добытого угля снизилось в 14 раз (с 1 до 0,07), что связано с реорганизацией и техническим перевооружением отрасли, в свою очередь приведшим к сокращению численности рабочего персонала на угольных шахтах на фоне ежегодного увеличения объемов добычи угля [2, 3]. Стоит отметить, что в России сосредоточен второй по величине объем запасов угля, который равен 157,01 млрд т, это составляет около

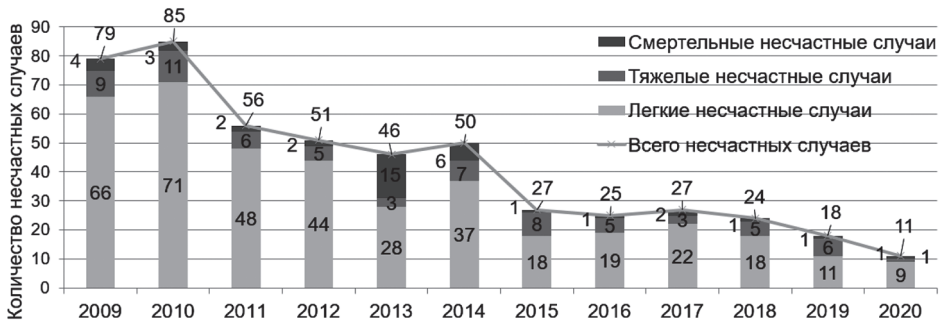


Рис. 1. Динамика травматизма на предприятиях филиала АО «СУЭК-Кузбасс»

Fig. 1. Traumatism history at production units of SUEK-Kuzbass

18% от общих мировых запасов. Более двух третей добываемого в России угля – это каменный уголь Кузнецкого и Печорского угольных бассейнов.

При высоких темпах снижения рисков производственного травматизма его абсолютные значения для угольной отрасли превышают аналогичные показатели для других отраслей промышленности. Характерным примером для угольной отрасли можно считать АО «Сибирская угольная энергетическая компания» (АО «СУЭК-Кузбасс»), которое расположено в Кемеровской области России, поставляет уголь в 48 стран и является одной из самых крупных угольно-энергетических мировых компаний.

При повышении объемов добычи угля в АО «СУЭК-Кузбасс» в период 2011 – 2020 гг. на 14% постоянное совершенствование охраны труда и промышленной безопасности привело к сокращению общего количества несчастных случаев в 5 раз, с 56 в 2011 г. до 11 в 2020 г. [4–6]. Однако это произошло лишь за счет уменьшения легких несчастных случаев (рис. 1). Число тяжелых и смертельных случаев за рассматриваемый период практически осталось неизменным, что подтверждает необходимость разработки и внедрения комплекса мероприятий по уменьшению количества тяжелых и смертельных травм, в том числе мероприятий технического характера.



Рис. 2. Динамика производственного травматизма в местах выполнения очистных работ на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс»

Fig. 2. Occupational traumatism history in longwalls of SUEK-Kuzbass

Адресный характер этих мероприятий должен устанавливаться на основании определения мест возникновения несчастных случаев и соотношения между легкими, тяжелыми и смертельными случаями. Для компании АО «СУЭК-Кузбасс» нами установлено, что 32% несчастных случаев происходит при очистных работах, 19% — при подготовительных работах и 49% — в действующих выработках.

При осуществлении очистных работ наибольшее количество несчастных случаев зарегистрировано в лаве. В конвейерном, вентиляционном штреках, в монтажной и демонтажной камере их количество в среднем остается на одном уровне (рис. 2).

В период 2009–2015 гг. в лавах угольных шахт количество тяжелых и смертельных несчастных случаев составляло в среднем 30% (рис. 3). После 2015 г. имели место только легкие несчастные случаи, что в целом подтверждает стохастический характер производственного травматизма, не исключающий появление смертельных и тяжелых несчастных случаев в будущем. Их предотвращение возможно при реализации адресного подхода, учитывающего причины травматизма и определяющего выбор конкретных организационных или технических мероприятий.

Целью данной статьи является обобщение мероприятий по снижению обрушения и вывалов горных пород в лавах с использованием риск-ориентированного подхода.

Литературный обзор

Вопросам снижения риска травматизма на горнодобывающих предприятиях посвящены исследования многих отечественных и зарубежных ученых: О.В. Воробьевой, В.А. Галкина, В.Н. Костеренко, И.Л. Кравчука, Е.М. Неволиной, М.Л. Рудакова, А.В. Смолина, Г.З. Файнбурга, А.И. Фомина, Ю.В. Шувалова и других авторов [7–9]. Но вопросы снижения риска производственного травматизма, связанного с обрушениями горных пород, изучены недостаточно.

Важной особенностью оценки рисков в России является применение количественных показателей, характеризующих различные виды риска (индивидуальный риск, коллективный риск, экономический ущерб, математическое ожидание ущерба). Наиболее распространенным в России является метод оценки рисков по системе проверочного листа или чек-листа [10].

За рубежом, например, в Финляндии, для вычисления риска травматизма, большую популярность получил метод оценки рисков по системе Элмери [11],

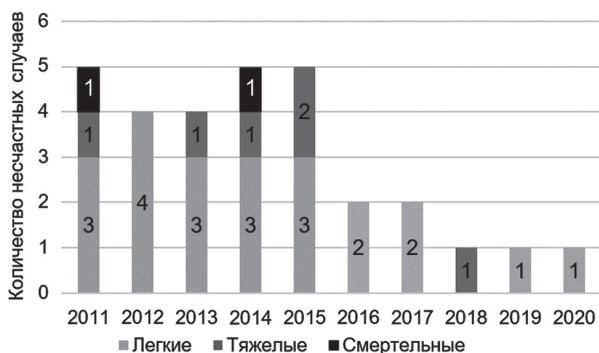


Рис. 3. Распределение несчастных случаев, произошедших в лавах на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс», по степени тяжести

Fig. 3. Severity structure of accidents in longwalls of SUEK-Kuzbass

который дает возможность установить вероятность возникновения условий, приводящих к травматизму и профзаболеваниям. Канадский центр охраны труда и техники безопасности (ССОНС) признает возможность использования для оценки рисков различных способов и методов [12, 13]. Сотрудниками центра предложен примерный порядок действий при вычислении рисков. На его основе разработаны формы для оценки риска, позволяющие документировать используемую процедуру и способы принятия решений. В США используются такие методы оценки риска, как FMEA (анализ видов и последствий отказов), HAZOP (исследования опасностей и работоспособности) и FTA (анализ дерева отказов). Метод HAZOP, например, представляет собой процедуру оценки риска, состоящую из процесса детализации и выявления эксплуатационных нарушений и неисправностей оборудования, а также процессов производственной единицы или системы, приводящих к некоторым нежелательным последствиям [14].

Аналогичные процедуры оценки рисков применяются в таких странах, как Швеция, Норвегия и др. [15].

Несмотря на многочисленные исследования в области анализа рисков травматизма, вопросы обоснования конкретных рекомендаций по его снижению изучены недостаточно. В частности, отсутствуют исследования, направленные на выбор адресных мероприятий по снижению риска, что определяет актуальность данного исследования.

Методы

Для определения приоритетных направлений по снижению производственного травматизма в лавах шахт АО «СУЭК-Кузбасс» были использованы статистические данные Ростехнадзора РФ [16] и данные, представленные в классифи-

каторе травматизма компании в период с 2011 по 2020 гг.

Для количественной оценки производственного травматизма на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» по причинам внезапных обрушений и вывалов горных пород использован показатель риска, который рассчитывался как частное от деления произошедших несчастных случаев, приводящих к травматизму различной тяжести, на общую численность работающего персонала в компании.

Обработка статистических данных осуществлялась корреляционно-регрессионным методом, позволяющим установить как структуру риска производственного травматизма по определяющим его причинам и степени тяжести, так и его динамику в течение рассматриваемого периода.

Анализ конструктивных недостатков применяемой в настоящее время механизированной крепи, приводящих к повышенному риску внезапных обрушений и вывалов горных пород, осуществляется на основании результатов исследований работы гидростоек секций механизированной крепи М-138 в условиях лавы 26–325 АО «Шахты «Полосухинская».

Совершенствование существующей конструкции секций механизированной крепи в части исключения при ее передвижке обрушений, вывалов угля и породы выполнялось на основе анализа патентной информации с последующей разработкой оригинальных конструктивных решений.

Результаты

Анализ риска производственного травматизма в АО «СУЭК-Кузбасс»

На основе анализа данных по производственному травматизму установлено процентное соотношение между вызывающими его причинами (рис. 4).

Как следует из рис. 4, преобладающее влияние на производственный трав-



Рис. 4. Процентное соотношение между причинами, вызывающими производственный травматизм в АО «СУЭК-Кузбасс»

Fig. 4. Ratio of causes of occupational traumatism at SUEK-Kuzbass

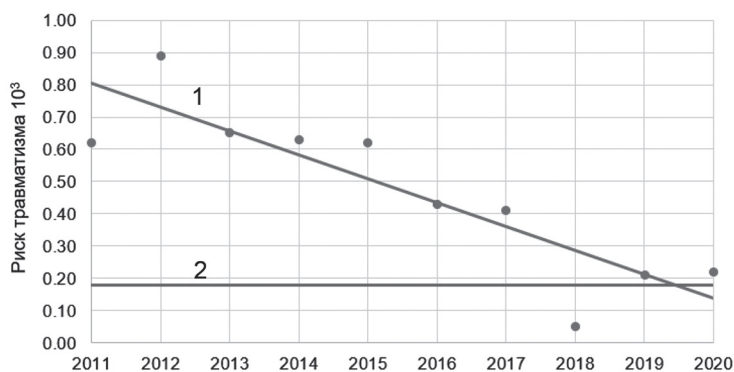
матизм оказывают внезапные обрушения и вывалы горных пород (22,29%), а также воздействие движущихся, вращающихся деталей и машин (21,61%).

Эти выводы подтверждаются данными Ростехнадзора, согласно которым обрушениями горных пород вызваны более 17% случаев смертельного травматизма на угольных шахтах России, это вторая по распространенности причина смертельных несчастных случаев. За период с 2006 по 2018 гг. на угольных шахтах было выявлено 106 смертельных случаев, обусловленных данным фактором [17].

При этом было установлено, что 62,5% несчастных случаев произошло в очистных и подготовительных выработках, а также по пути следования к рабочим местам в горизонтальных и наклонных выработках.

На основе показателя риска производственного травматизма для каждого года работы компании рассчитана динамика рисков легкого и суммы величин тяжелого и смертельного травматизма в лавах [18, 19] (рис. 5).

Результаты расчетов показали, что если риск легкого производственного травматизма за 10 лет снизился на 55%



1 — Риск легкого травматизма (M=0,49; SEM=0,09) 2 — Риск тяжелого травматизма (M=0,18; SEM=0,08)

Рис. 5. Риск производственного травматизма в лавах угольных шахт АО «СУЭК-Кузбасс»

Fig. 5. Risk of occupational traumatism at SUEK-Kuzbass

при его среднем значении за этот период, составляющим 0,00062, то величина риска тяжелого и смертельного травматизма практически не изменяется, составляя 0,00018.

Из графиков на рис. 5 следует, что риск легкого травматизма в лавах угольных шахт в течение 10-летнего периода с достоверностью 0,75 имеет тенденцию к снижению [20 – 22].

При среднем значении за этот период, составляющем 0,00062, уменьшение риска легкого травматизма оказалось равным 55%. В свою очередь, риск тяжелого и смертельного производственного травматизма в лавах остается в течение рассматриваемого периода неизменным и равным 0,00018. Последнее свидетельствует о необходимости разработки адресных мероприятий, направленных на снижение тяжелого и смертельного производственного травматизма в лавах [23, 24].

Детальный анализ причин внезапных обрушений и вывалов горных пород в лавах показал, что они связаны с конструктивными недостатками крепи и нарушением технологии ее передвижки, приводящими к задержке при монтаже

крепи (38%), недостаточной устойчивости и/или ее несущей способности (22%), ошибкам при монтаже крепи (17%), наличию пустот между крепью и породой (9%), увеличению расстояния между рамами или секциями по сравнению с расчетным (8%), отсутствию затяжки и недостаточным расклиниванием рамы крепи (6%) [25, 26].

Поскольку основным фактором внезапных обрушений и вывалов горных пород с максимальным риском являются конструктивные недостатки крепи, приводящие к установке крепи с недостаточной устойчивостью или несущей способностью, запоздалой установке СМК при выполнении операций по ее передвижке, вследствие чего при продолжении выемки увеличивается площадь обнаженной кровли или возрастает время, в течение которого кровля не подхватывается крепью. Влияние данных причин можно проиллюстрировать осциллограммой изменения давлений в гидростойке СМК (рис. 6).

Из представленной осциллограммы изменения давлений в гидростойке СМК следует, что секция механизированной крепи работает циклично, выполняя по-

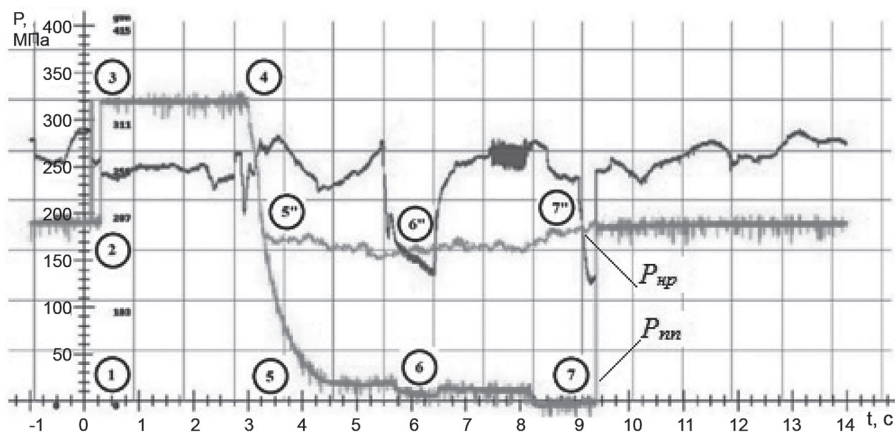


Рис. 6. Осциллограмма изменения давлений в гидростойке секции механизированной крепи М-138 за цикл операций по передвижке лавы 26 – 325 АО «Шахты «Полосухинская»

Fig. 6. Pressure oscillogram in hydraulic prop of M-138 roof support unit per advance cycle in longwall 26-325 in Polosukhinskaya Mine

следовательные операции. На осциллограмме изменения давлений представлены основные операции цикла, такие как начальный распор (1), работа в режиме нарастающего сопротивления (2–3), работа в режиме равного сопротивления (3–4), снятие распора (4–5) и передвижка секции крепи (5–7).

Наибольший интерес представляет режим разгрузки и передвижки секции крепи (4–7). При передвижке секции крепи под вывалы, образовавшиеся в незакрепленной полосе кровли между забоем и концами призабойных консолей, в результате разгрузки секций (4–5) происходит отслаивание породных пачек, ранее удерживаемых консолями [27–29]. При последующем распоре секций передвинутый крепью разрушаются породные выступы, оставшиеся в промежутках между вывалами. В связи с этим площадь вывала распространяется на весь участок кровли в призабойном пространстве — от забоя до завальной консоли перекрытия. Это явление называют эффектом «топтанья» кровли. Его вредными последствиями являются повышение податливости крепи, образование трещин и вывалов в межсекционном пространстве [30, 31].

Анализ осциллограммы изменения давлений в гидростойке СМК в условиях действующей лавы 26–325 АО шахты «Полосухинская» показал, что риск внезапных обрушений и вывалов горных пород при использовании стандартных конструкций создается именно в процессе передвижения СМК (точки 4–5–6–7) из-за большого диапазона изменений давления на непосредственную кровлю от максимальных значений перед передвижкой секций до минимальных значений перед распором секции. Такой диапазон изменений давлений и сил сопротивления гидростоек способствует увеличению нагрузок на кровлю, возникновению в ней трещин и вывалов,

приводит к неустойчивости процесса управления горным давлением и увеличивает риски обрушений пород кровли в межстоечное пространство [32, 33].

Для уменьшения эффекта «топтанья» пород кровли из-за разности сил распора за цикл операций целесообразно давление подпора $P_{\text{пн}}$ при передвижке СМК поднять до уровня начального распора $P_{\text{нр}}$, тогда разгрузка и передвижение секции крепи будут соответствовать участку 4–5"–6"–7" (рис. 6). Однако в этом случае будет невыполнима операция передвижки СМК из-за больших сопротивлений их перемещению. Исключение этих причин, связанных с конструктивными недостатками крепи, возможно при совершенствовании структуры СМК.

Выбор конструкции секции механизированной, снижающей риск внезапных обрушений и вывалов горных пород

Обрушения и вывалы горных пород кровли при любых технологиях очистной выемки остаются одними из основных травмирующих факторов при подземной разработке угля. Это предъявляет особые требования к применяемым способам крепления и управления кровлей. Например, при управлении кровлей с применением частичной закладки уровень травматизма от обрушений и вывалов горных пород с тяжелым и смертельным исходом на 25% больше, чем при управлении кровлей с применением полной закладки выработанного пространства, а по сравнению с управлением кровлей полным обрушением — меньше на 45% [34].

При использовании для посадки кровли механизированной крепи М-138 вследствие ее конструктивных недостатков и нарушения технологии установки повышается вероятность обрушений и вывалов горных пород кровли и, следовательно, риск травмирования горнора-

бочих, величина которого по оценкам, приведенным выше, достигает 22%.

Для исключения причин, связанных с конструктивными недостатками крепи, сотрудниками кафедры машиностроения СПГУ разработано конструктивное и техническое решение секции механизированной крепи с опорной и направляющей балками, сохраняющее в процессе ее передвижки силовое взаимодействие перекрытий секции с кровлей, исключаящее перепад давлений в момент разгрузки и передвижки секции крепи (см. рис. 6, кривая 4–5"–6"–7") [35, 36]. Это позволяет сохранить затяжку кровли при передвижке СМК и исключить возможность обрушения и вывалов горных пород [37].

Внешний вид предлагаемой конструкции СМК иллюстрируется рис. 7.

Идея технического решения, запатентованного в базе ФИПС (Секция механизированной крепи с опорной и направляющей балками RU № 169381), заключается в том, что перекрытие секции выполнено с продольным пазом, в который установлена опорная балка с возможностью перемещения ее на шаг передвижки секции крепи гидродомкратом, шарнирно соединенным одним кон-

цом с перекрытием, а другим с опорной балкой, при этом перекрытие при перемещении секции имеет возможность распора в кровлю через неподвижную опорную балку посредством портала с гидропатроном и подшипниковой опорой скольжения.

Для обеспечения необходимого эффекта при установке крепи высокой устойчивости предложенная СМК с опорной и направляющей балками в исходном положении передвинута к забойному скребковому конвейеру. После выемки полосы угля и подвигания забоя на ширину захвата очистного комбайна передвижка секции крепи осуществляется в следующей последовательности (рис. 7, цикл передвижки секции крепи):

I. Одновременно переносится распор секции крепи в почву с основания секции на направляющую балку включением гидропатрона компенсирующего устройства и с перекрытия секции на опорную балку включением на распор гидропатрона по перекрытию.

II. После переноса распора на направляющую и опорную балки включаются гидродомкраты передвижки по основанию и перекрытию, которые осуществляют передвижку секции крепи

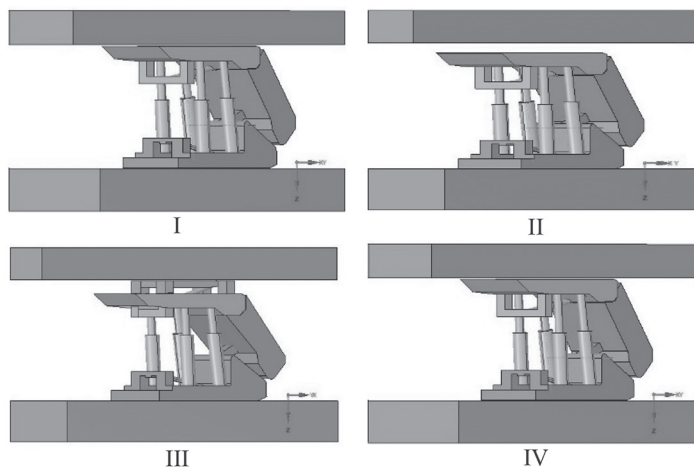


Рис. 7. Операция передвижки секции крепи с опорной и направляющей балками

Fig. 7. Advance cycle of powered roof support unit with load-bearing and lead beams

на забой с опорой на неподвижные направляющую и опорную балки.

III. После передвигки секции гидродомкраты и гидропатроны переключаются на слив, распор с балок переносится на перекрытие и на основание секции, а распорная балка гидродомкратом передвигается по продольному пазу перекрытия к забою на шаг передвигки.

IV. Цикл передвигки секции заканчивается.

Результатом использования предлагаемого технического решения является снижение вероятности обрушения и вывалов пород кровли и сокращение риска травматизма на 22%.

Заключение

На основании регрессионно-корреляционного анализа статистических данных по производственному травматизму показано, что риск легкого производственного травматизма угольных шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» за 10 лет снизился на 55% при его среднем значении за этот период, составляющем 0,00062. За этот же период суммарный риск тяжелого и смертельного травматизма практически не изменился и составил 0,00018.

Выполненный анализ структуры рисков производственного травматизма на угольных шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» показал, что одним из основных видов травматизма в лавах являются внезапные обрушения и вывалы горных пород.

Причинами, приводящими к внезапным обрушениям и вывалам горных пород в лавах следует считать конструктивные недостатки используемых в настоящее время механизированных крепей, связанные с задержкой при монтаже крепи (38%), недостаточной устойчивостью и/или несущей способностью (22%), ошибками при монтаже крепи (17%), наличию пустот между крепью и породой (9%), увеличением расстояния

между рамами или секциями по сравнению с расчетным (8%), отсутствием затяжки и недостаточным расклиниванием рамы крепи (6%).

Предлагаемая конструкция СМК с опорной и направляющей балками обеспечивает:

- неподвижность контакта опорной балки с породами кровли в момент передвигки СМК за счет использования дополнительного кинематического звена — опорной и направляющей балок;
- передвигку СМК без значительных силовых циклических воздействий на породы непосредственной кровли;
- предотвращение разрушений и высыпание пород непосредственной кровли в межсекционное пространство.

Использование для управления кровлей предлагаемой конструкции СМК позволит снизить уровень производственного травматизма при выполнении вспомогательных операций по передвигке СМК, корректировке их положений и компенсации недостаточной их устойчивости или несущей способности, что составляет 22% в структуре общего производственного травматизма по фактору внезапных обрушений и вывалов горных пород. Таким образом, с помощью предложенного инновационного технического решения СМК с опорной и направляющей балками риск производственного травматизма сократится с 0,001002 до 0,000771, что повысит безопасность труда рабочих в очистном забое.

Вклад авторов

Гендлер С.Г. — генерация идеи исследования, постановка цели, задачи исследования, разработка методологии исследования, написание текста статьи.

Габов В.В. — формулировка цели, задачи исследования, разработка технического решения, написание текста статьи.

Бабырь Н.В. — разработка технического решения, выполнение работы по

систематизации материала, написание текста статьи.

Проخورова Е.А. — анализ результатов исследования и подготовка данных, написание текста статьи.

Авторы выражают признательность за помощь коллегам и людям, чей вклад в данную работу носил чисто технический характер.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фомин А. И., Осипова А. И. Актуальность исследования производственного травматизма и профессиональной заболеваемости / Безопасность жизнедеятельности предприятий в промышленно развитых регионах. Сборник материалов XII международной научно-практической конференции. — Кемерово, 2017.

2. Федеральная служба государственной статистики России. URL: https://rosstat.gov.ru/working_conditions?print=1.

3. Чemezov Е. Н. Принципы обеспечения безопасности горных работ при добыче угля // Записки Горного института. — 2019. — Т. 240. — С. 649–653. DOI: 10.31897/PMI.2019.6.649.

4. Gridina E. B., Pasinkov A. V., Andreev R. E. Comprehensive approach to managing the safety of miners in coal mines / The 11th Russian-German Raw Materials Conference. 2018. pp. 85–94.

5. Самаров Л. Ю. Обоснование системы показателей для оценки производственного травматизма в вертикально-интегрированных угольных компаниях: Дис. ... канд. техн. наук. — СПб.: СПбГУ, 2017. — 120 с.

6. Коршунов Г. И., Казанин О. И., Рудаков М. Л., Недосекин А. О., Кабанов Е. И. Разработка методики оценки рисков аварий на угольных шахтах с учетом конкретных горно-геологических условий // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2017. — № 55-1. — С. 374–382.

7. Rudakov M. L., Kolvakh K. A., Derkach I. V. Assessment of environmental and occupational safety in mining industry during underground coal mining // Journal of Environmental Management and Tourism. 2020, no. 3, pp. 579–588.

8. Костеренко В. Н., Воробьева О. В. Анализ причин обрушений с целью повышения эффективности системы управления безопасностью труда угледобывающих предприятий // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2017. — № 6. — С. 74–90.

9. Файнбург Г. З. Риск-ориентированный подход и его научное обоснование // Безопасность и охрана труда. — 2016. — № 2 (67). — С. 31–40.

10. ГОСТ 12.0.230.5-2018. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Системы управления охраной труда. Методы оценки риска для обеспечения безопасности выполнения работ. [Электронный ресурс]: Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

11. Laitinen H., Rasa P.-L., Lankinen T., Lechtel J., Leskinen T. Manual on monitoring working conditions in the workplace in industry. The Elmary System // Institute of occupational health of Finland: Helsinki, Finland. 2000, pp. 3–5.

12. Canadian Centre for Occupational Health and Safety: [сайт]. URL: https://www.ccohs.ca/oshanswers/hsprograms/risk_assessment.html.

13. Canadian Centre for Occupational Health and Safety: [сайт]. URL: https://www.ccohs.ca/oshanswers/hsprograms/sample_risk.html.

14. Head G. L. Essentials of risk control. Insurance Institute of America: Malvern, PA, USA. 1989, vol. 1 and 2.

15. Siddiqui N. A., Nandan A., Sharma M., Srivastava A. Risk management techniques HAZOP & HAZID study // International Journal on Occupational Health & Safety, Fire & Environment — Allied Science. 2014, no. 1, pp. 5–8.

16. Широков Ю. А. О повышении эффективности обучения в сфере охраны и безопасности труда // Безопасность труда в промышленности. – 2020. – № 11. – С. 89 – 94.
17. Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. URL: <http://usib.gosnadzor.ru/info/>.
18. Kabanov E. I., Gridina E. B., Korshunov G. I. Algorithmic provisions for data processing under spatial analysis of risk of accidents on hazardous production facilities // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2019, no. 6, pp. 117 – 121.
19. Iphar M., Cukurluoç A. K. Fuzzy risk assessment for mechanized underground coal mines in Turkey // International Journal of Occupational Safety and Ergonomics. 2018, no. 3, pp. 110–158.
20. Филимонов В. А., Горина Л. Н. Особенности разработки системы управления охраной труда на основе процессного подхода // Записки Горного института. – 2019. – Т. 235. – С. 113. DOI:10.31897/pmi.2019.1.113.
21. Pivnyak G. G., Shashenko O. M. Innovations and safety for coal mines in Ukraine // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2015, no. 6, pp. 118 – 121.
22. Nikulin A. N., Ikonnikov D. A., Dolzhikov I. S. Increasing labour safety on coal mines // International Journal of Emerging Trends in Engineering Research. 2019, vol. 12, no. 7, pp. 842 – 848. DOI: 10.30534/ijeter/2019/197122019.
23. Rudakov M. L., Rabota E. N., Kolvakh K. A. Assessment of the individual risk of fatal injury to coal mine workers during collapses // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2020, no. 4, pp. 88 – 93. DOI: 10.33271/nvngu/2020-4/088.
24. Парханьски Ю. Риск травматизма рабочих угольных шахт и его гистерезис // Записки Горного института. – 2016. – Т. 222. – С. 869 – 876. DOI: 10.18454/PMI.2016.6.869.
25. Gendler S. G., Prokhorova E. A. Risk-based methodology for determining priority directions for improving occupational safety in the mining industry of the Arctic Zone // Resources. 2021, no. 10, pp. 1 – 14. DOI: 10.3390/resources10030020.
26. Зубов В. П. Состояние и направления совершенствования систем разработки угольных пластов на перспективных угольных шахтах Кузбасса // Записки Горного института. – 2017. – Т. 225. – С. 292 – 297. DOI: 10.18454/PMI.2017.3.292.
27. Amirgaliev E. Recognition of rocks at uranium deposits by using a few methods of machine learning // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2014, vol. 273, pp. 33 – 40.
28. Iakovleva E. V., Belova M. V., Popov A. L. Mining and environmental monitoring at openpit mineral deposits // Journal of Ecological Engineering. 2019, vol. 20, no. 5, pp. 172 – 178. DOI: 10.12911/22998993/105438.
29. Lozynskiy V. G. Experimental study of the influence of crossing the disjunctive geological fault on thermal regime of underground gasifier // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2016, no. 5, pp. 21 – 29.
30. Клишин В. И. Адаптация механизированных крепей к условиям динамического нагружения. – Новосибирск: Наука, 2002. – 199 с.
31. Buevich V. V., Gabov V. V., Zadkov D. A., Vasileva P. A. Adaptation of the mechanized roof support to changeable rock pressure // Eurasian Mining. 2015, no. 2, pp. 11 – 14. DOI: 10.17580/em.2015.02.03.
32. Martens P. N., Rattmann L., Janssen S., Kratz T. Advances in longwall mining / 22nd World Mining Congress & Expo, Istanbul. 2011, vol. 1, pp. 85 – 96.
33. Buyalich G. D., Buyalich K. G., Umrikhina V. Yu. Study of falling roof vibrations in a production face at roof support resistance in the form of concentrated force // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016, no. 142, article 012120. DOI: 10.1088/1757-899X/142/1/012120.
34. Liang Y., Li L., Li X., Wang K., Chen J., Sun Z., Yang X. Study on roof-coal caving characteristics with complicated structure by fully mechanized caving mining // Shock and Vibration. 2019, 6519213. DOI: 10.1155/2019/6519213.

35. Gabov V. V., Zadkov D. A., Stebnev A. V. Evaluation of structure and variables within performance rating of hydraulically powered roof support legs with smooth roof control // Eurasian Mining. 2016, no. 2, pp. 37 – 40. DOI: 10.17580/em.2016.02.09.

36. Babyr N. V., Korolev A. I., Neupokoeva T. V. Enhancement of powered cleaning equipment with the view of mining and geological conditions // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018, no. 194, article 032004. DOI:10.1088/1755-1315/194/3/032004.

37. Габов В. В., Задков Д. А., Бувевич В. В., Бабырь Н. В., Стебнев А. В. Патент РФ № 169381, 26.10.2016. Секция механизированной крепи с направляющей и опорной балками. **МИАБ**

REFERENCES

1. Fomin A. I., Osipova A. A. Relevance of the study of industrial injuries and occupational morbidity. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti predpriyatiy v promyshlennno razvitykh regionakh. Sbornik materialov XII mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Life safety of enterprises in industrially developed regions. Collection of materials of the XII International Scientific and Practical Conference], Kemerovo, 2017. [In Russ].

2. *Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki Rossii*, available at: https://rosstat.gov.ru/working_conditions?print=1.

3. Chemezov E. N. Principles of ensuring the safety of mining operations in coal mining. *Journal of Mining Institute*. 2019, vol. 240, pp. 649 – 653. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2019.6.649.

4. Gridina E. B., Pasinkov A. V., Andreev R. E. Comprehensive approach to managing the safety of miners in coal mines. *The 11th Russian-German Raw Materials Conference*. 2018. pp. 85 – 94.

5. Samarov L. Yu. *Obosnovanie sistemy pokazateley dlya otsenki proizvodstvennogo travmatizma v vertikal'no-integrirrovannykh ugol'nykh kompaniyakh* [Substantiation of the system of indicators for assessing industrial injuries in vertically integrated coal companies], Candidate's thesis, Saint-Petersburg, SPbGU, 2017, 120 p.

6. Korshunov G. I., Kazanin O. I., Rudakov M. L., Nedosekin A. O., Kabanov E. I. Development of methodology for assessment of accident risk for coal mines with taking into account the specific geological conditions. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2017, no. S5-1, pp. 374 – 382. [In Russ].

7. Rudakov M. L., Kolvakh K. A., Derkach I. V. Assessment of environmental and occupational safety in mining industry during underground coal mining. *Journal of Environmental Management and Tourism*. 2020, no. 3, pp. 579 – 588.

8. Kosterenko V. N., Vorob'eva O. V. Analysis of causes of rock falls to enhance labor safety control efficiency in coal mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2017, no. 6, pp. 74 – 90. [In Russ].

9. Fainburg G. Z. Risk-based approach and its scientific justification. *Safety and labor protection*. 2016, no. 2(67), pp. 31 – 40. [In Russ].

10. *Sistema standartov bezopasnosti truda. Sistemy upravleniya okhranoy truda. Metody otsenki riska dlya obespecheniya bezopasnosti vypolneniya rabot. GOST 12.0.230.5-2018* [Occupational safety standards system. Health management systems. Risk assessment methods to ensure the safety of work. State Standart 12.0.230.5-2018], Moscow, Standartinform, 2018.

11. Laitinen H., Rasa P.-L., Lankinen T., Lechtel J., Leskinen T. *Manual on monitoring working conditions in the workplace in industry. The Elmery System*. Institute of occupational health of Finland: Helsinki, Finland. 2000, pp. 3–5.

12. *Canadian Centre for Occupational Health and Safety*, available at: https://www.ccohs.ca/oshanswers/hsprograms/risk_assessment.html.

13. *Canadian Centre for Occupational Health and Safety*, available at: https://www.ccohs.ca/oshanswers/hsprograms/sample_risk.html.

14. Head G. L. *Essentials of risk control*. Insurance Institute of America: Malvern, PA, USA. 1989, vol. 1 and 2.

15. Siddiqui N. A., Nandan A., Sharma M., Srivastava A. Risk management techniques HAZOP & HAZID study. *International Journal on Occupational Health & Safety, Fire & Environment – Allied Science*. 2014, no. 1, pp. 5–8.

16. Shirokov Yu. A. On improving the effectiveness of training in the field of occupational safety and health. *Occupational Safety in Industry*. 2020, no. 11, pp. 89–94. [In Russ].

17. *Federal'naya sluzhba po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru*, available at: <http://usib.gosnadzor.ru/info/>.

18. Kabanov E. I., Gridina E. B., Korshunov G. I. Algorithmic provisions for data processing under spatial analysis of risk of accidents on hazardous production facilities. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2019, no. 6, pp. 117–121.

19. Iphar M., Cukurluo A. K. Fuzzy risk assessment for mechanized underground coal mines in Turkey. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*. 2018, no. 3, pp. 110–158.

20. Filimonov V. A., Gorina L. N. Development of an occupational safety management system based on the process approach. *Journal of Mining Institute*. 2019, vol. 235, pp. 113. [In Russ]. DOI:10.31897/pmi.2019.1.113.

21. Pivnyak G. G., Shashenko O. M. Innovations and safety for coal mines in Ukraine. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2015, no. 6, pp. 118–121.

22. Nikulin A. N., Ikonnikov D. A., Dolzhikov I. S. Increasing labour safety on coal mines. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*. 2019, vol. 12, no. 7, pp. 842–848. DOI: 10.30534/ijeter/2019/197122019.

23. Rudakov M. L., Rabota E. N., Kolvakh K. A. Assessment of the individual risk of fatal injury to coal mine workers during collapses. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2020, no. 4, pp. 88–93. DOI: 10.33271/hvngu/2020-4/088.

24. Parkhansky Yu. The risk of injuries of coalmine workers and its hysteresis. *Journal of Mining Institute*. 2016, vol. 222, pp. 869–876. [In Russ]. DOI: 10.18454/PMI.2016.6.869.

25. Gendler S. G., Prokhorova E. A. Risk-based methodology for determining priority directions for improving occupational safety in the mining industry of the Arctic Zone. *Resources*. 2021, no. 10, pp. 1–14. DOI: 10.3390/resources10030020.

26. Zubov V. P. State and directions of improvement of coal seam development systems at the perspective coal mines of Kuzbass. *Journal of Mining Institute*. 2017, vol. 225, pp. 292–297. [In Russ]. DOI: 10.18454/PMI.2017.3.292.

27. Amirgaliev E. Recognition of rocks at uranium deposits by using a few methods of machine learning. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2014, vol. 273, pp. 33–40.

28. Iakovleva E. V., Belova M. V., Popov A. L. Mining and environmental monitoring at openpit mineral deposits. *Journal of Ecological Engineering*. 2019, vol. 20, no. 5, pp. 172–178. DOI: 10.12911/22998993/105438.

29. Lozynskiy V. G. Experimental study of the influence of crossing the disjunctive geological fault on thermal regime of underground gasifier. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2016, no. 5, pp. 21–29.

30. Klishin V. I. *Adaptatsiya mekhanizirovannykh krepey k usloviyam dinamicheskogo nagruzeniya* [Adaptation of mechanized supports to the conditions of dynamic loading], Novosibirsk, Nauka, 2002, 199 p.

31. Buevich V. V., Gabov V. V., Zadkov D. A., Vasileva P. A. Adaptation of the mechanized roof support to changeable rock pressure. *Eurasian Mining*. 2015, no. 2, pp. 11–14. DOI: 10.17580/em.2015.02.03.

32. Martens P. N., Rattmann L., Janssen S., Kratz T. Advances in longwall mining. *22nd World Mining Congress & Expo, Istanbul*. 2011, vol. 1, pp. 85–96.

33. Buyalich G. D., Buyalich K. G., Umrikhina V. Yu. Study of falling roof vibrations in a production face at roof support resistance in the form of concentrated force. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2016, no. 142, article 012120. DOI: 10.1088/1757-899X/142/1/012120.

34. Liang Y., Li L., Li X., Wang K., Chen J., Sun Z., Yang X. Study on roof-coal caving characteristics with complicated structure by fully mechanized caving mining. *Shock and Vibration*. 2019, 6519213. DOI: 10.1155/2019/6519213.

35. Gabov V. V., Zadkov D. A., Stebnev A. V. Evaluation of structure and variables within performance rating of hydraulically powered roof support legs with smooth roof control. *Eurasian Mining*. 2016, no. 2, pp. 37 – 40. DOI: 10.17580/em.2016.02.09.

36. Babyr N. V., Korolev A. I., Neupokoeva T. V. Enhancement of powered cleaning equipment with the view of mining and geological conditions. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2018, no. 194, article 032004. DOI:10.1088/1755-1315/194/3/032004.

37. Gabov V. V., Zadkov D. A., Buevich V. V., Babyr N. V., Stebnev A. V. *Patent RU 169381 U1*, 26.10.2016. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Гендлер Семен Григорьевич¹ – д-р техн. наук, профессор, e-mail: Gendler_SG@pers.spmi.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7721-7246>,

Габов Виктор Васильевич¹ – д-р техн. наук, профессор, e-mail: Gabov_VV@pers.spmi.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6587-2446>,

Бабырь Никита Валерьевич¹ – канд. техн. наук, ассистент, e-mail: Babyr_NV@pers.spmi.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5512-8517>,

Прохорова Елизавета Александровна¹ – аспирант, e-mail: Prokhorovaea96@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5018-1773>,

¹ Санкт-Петербургский горный университет.

Для контактов: Прохорова Е.А., e-mail: Prokhorovaea96@gmail.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

S.G. Gendler¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor, e-mail: Gendler_SG@pers.spmi.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7721-7246>,

V.V. Gabov¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor, e-mail: Gabov_VV@pers.spmi.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6587-2446>,

N.V. Babyr¹, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, e-mail: Babyr_NV@pers.spmi.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5512-8517>,

E.A. Prokhorova¹, Graduate Student, e-mail: Prokhorovaea96@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5018-1773>,

¹ Saint-Petersburg Mining University, 199106, Saint-Petersburg, Russia.

Corresponding author: E.A. Prokhorova, e-mail: Prokhorovaea96@gmail.com.

Получена редакцией 13.09.2021; получена после рецензии 15.10.2021; принята к печати 10.12.2021.

Received by the editors 13.09.2021; received after the review 15.10.2021; accepted for printing 10.12.2021.