УДК 622.813.31

ПРОГНОЗ ОПАСНЫХ ОБРУШЕНИЙ КРОВЛИ ПРИ СЛОЕВОЙ ОТРАБОТКЕ ПЛАСТА ТРЕТЬЕГО КАЛИЙНОГО ГОРИЗОНТА

Б. И. ПЕТРОВСКИЙ, главный научный сотрудник, д-р техн. наук

А. А. ГАРНИШЕВСКИЙ, научный сотрудник, gss1702@gmail.com

О. М. ЧЕЧУХА, начальник управления автоматизации

Унитарное предприятие «Институт горного дела», Солигорск, Беларусь

Описаны системы мониторинга горного давления, применявшиеся в разное время при отработке пласта Третьего калийного горизонта Старобинского месторождения.

Разработано программное обеспечение для автоматизированных систем мониторинга горного давления, с использованием которого ведется прогноз опасных обрушений кровли при слоевой выемке вышеуказанного пласта.

Ключевые слова: *слоевая выемка, горное давление, динамические проявления, лава, призабойное пространство, забойная крепь, программно-аппаратные средства, система мониторинга, опасные обрушения кровли, прогноз.*

DOI: *10.17580/gzh.2018.08.11*

Введение

При слоевой выемке пласта Третьего калийного горизонта Старобинского месторождения в нижних лавах, отрабатывающих II, II-III, III слои после извлечения верхнего IV сильвинитового слоя, имеют место интенсивные динамические проявления горного давления при обрушениях кровли. В некоторых случаях они сопровождаются посадкой забойной крепи «нажестко» с разрушением различных ее элементов и вывалами пород в призабойное пространство [1–10]. Кроме снижения объемов добычи руды, подобные явления представляют большую опасность для обслуживающего персонала лавы.

Одновременно с применением в лавах защитных мероприятий научными организациями с 1989 г. велись работы по созданию программно-аппаратных средств контроля опасных обрушений кровли. В основу создания таких средств положена установленная ранее закономерность взаимодействия забойной крепи с кровлей, которая заключается в том, что в двух-трех циклах очистных работ, непосредственно предшествующих опасному обрушению, скорость выхода гидростоек на рабочее сопротивление увеличивается в несколько раз по сравнению с обычными циклами.

В результате выполненных научно-исследовательских и экспериментальных работ был создан ряд автоматизированных систем мониторинга горного давления (СМГД) с функцией прогноза опасных обрушений кровли в лавах (СКОК, ТСК-ОК, КоДаК, X-MANN, PressCater). Все указанные СМГД не в полной мере обеспечивают достоверность прогноза из-за ограниченного числа датчиков горного давления и многочисленных ложных срабатываний по выдаче сигнала тревоги (СКОК, ТСК-ОК), использования устаревших программно-аппаратных средств (КоДаК), упрощенного алгоритма прогноза и «закрытости» для пользователей программного обеспечения, что исключает возможность его доработки (технологической адаптации) – X-MANN, PressCater [11].

В связи с этим Унитарным предприятием «Институт горного дела» и ОАО «Беларуськалий» были разработаны алгоритм и программное обеспечение ПрОК (прогноз опасных обрушений кровли) нового поколения. С 2016 г. с использованием ПО ПрОК осуществляется оперативный прогноз опасных обрушений кровли в нескольких слоевых лавах, в которых установлены СМГД последней модификации – PressCater.

Этапы создания СМГД с функцией прогноза для рудников ОАО «Беларуськалий»

К числу первых разработок программно-аппаратных средств (1992 г.) относится система контроля опасных обрушений кровли в лавах СКОК [12, 13]. Она состояла из датчика горного давления, устанавливаемого в лаве, блока обработки сигналов и регистрирующих самописцев, находящихся в диспетчерской рудника.

Посредством обработки данных с датчика горного давления определяли в каждом цикле очистных работ скорость выхода крепи на рабочее сопротивление. При достижении или превышении в цикле предельной заранее заданной скорости система автоматически включала световой (в диспетчерской) и звуковой (в лаве) сигнал об опасном развитии горного давления.

В 2000 г. была создана автоматизированная система контроля горного давления (ТСК-ОК), в состав которой входили шахтный

© Петровский Б. И., Гарнишевский А. А., Чечука О. М., 2018

контролер ЛСУ-Ш, более надежные датчики горного давления в количестве 10 ед. Вывод и обработку данных осуществляли на ПЭВМ, расположенной в диспетчерской рудника. В основу программного обеспечения ТСК-ОК был положен модернизированный алгоритм СКОК.

В течение последующих двух лет совершенствовали методику автоматизированного сбора, передачи и обработки данных, алгоритм и программное обеспечение, используемые в ТСК-ОК. Новые технические решения и программно-аппаратные средства были реализованы в автоматизированной системе КоДаК, которая также имеет 10 датчиков горного давления и функционирует до сих пор в нижних слоевых лавах [14–16].

Рис. 1. Структурная схема СМГД PressCater с программным обеспечением ПрОК:
1 – нижний уровень; *2* – средний уровень; *3* – верхний уровень;
4 – датчик горного давления;
5 – конвертер передачи данных;
6 – шахтный компьютер;
7 – сервер СМГД; *8* – сервер ПрОК;
9 – клиент ПрОК

В настоящее время с развитием электроники и горной науки появилась возможность не только заменить и расширить элементную базу программно-аппаратных средств, но и реализовать более сложное программное обеспечение для прогноза опасных ситуаций. Совместно с КоДаК в лавах ОАО «Беларуськалий» на данный момент функционируют современные автоматизированные системы мониторинга горного давления X-MANN фирмы EMAG и PressCater фирмы KOPEX (Польша), позволяющие контролировать давление в гидростойках как по всей длине лавы, так и на отдельных секциях крепи [17].

Структурная схема СМГД PressCater с программным обеспечением ПрОК показана на **рис. 1**. Она представляет собой трехуровневый программно-аппаратный комплекс.

Нижний аппаратный уровень состоит из датчиков горного давления, имеющих автономное электрическое питание в виде элементов питания, встроенных в корпус датчика. К этому уровню относятся также устройства звуковой и световой сигнализации, ретрансляторы, концентраторы канала связи. Информационный канал связи является беспроводным.

Средний программно-аппаратный уровень включает в себя шахтный компьютер, расположенный на энергопоезде лавы. На этом уровне с помощью специального программного обеспечения выполняют первичную обработку данных (фильтрация, сглаживание, архивирование) для передачи на верхний уровень.

На верхнем уровне, состоящем из программного обеспечения, выполняют технологическую обработку данных, формируют базы данных, осуществляют экспорт-импорт данных на технологическом сервере СМГД. Также сюда включено программное обеспечение для пользователей, в обязанности которых входят проведение оперативного контроля и организация технологического процесса в очистном забое, а также техническое обслуживание программно-аппаратного комплекса.

Программное обеспечение нижнего и среднего уровней функционирует в составе комплекса технических и программно-аппаратных средств, разработанных фирмой-изготовителем СМГД. Программно-аппаратные средства расположены непосредственно в шахте. Технологическую обработку и архивирование информации, визуализацию технологического процесса осуществляют на верхнем уровне, размещенном на аппаратном сервере.

Данные с сервера СМГД поступают на сервер ПрОК. Для универсального интерфейса с пользователем и единого методического подхода к обработке данных и представлению материала в ПО ПрОК использован новый программный модуль, объединяющий интерфейс и методику технологической обработки данных всех применяемых на месторождении систем мониторинга горного давления. Это позволило сформировать в ОАО «Беларуськалий» единую базу данных для контролируемых слоевых лав. Для контроля горного давления заложен программный модуль, позволяющий оценивать геомеханическую ситуацию, прогнозировать с большой вероятностью опасное развитие горного давления в лавах и подавать аварийный сигнал [18].

Помимо прогноза опасных обрушений кровли, в ПО ПрОК имеется возможность контроля состояния гидросистемы крепи, технологии выемки полезного ископаемого и соблюдения паспорта крепления и управления кровлей в очистном забое: место зарубки и направление движения комбайна, передвижка забойной крепи и т. д.

Описание алгоритма прогноза опасных обрушений кровли

Алгоритм, заложенный в ПО ПрОК, включает в себя прогноз опасных обрушений кровли по совокупности сообщений и по сообщениям об опасном развитии горного давления лавы. Кроме того, учитывая, что некоторые процессы, происходящие в лаве, достаточно сложно алгоритмизировать для программного обеспе-

чения, в ПО ПрОК наряду с разработанным алгоритмом предусмотрено применение метода визуального анализа.

Суть прогноза по совокупности сообщений заключается в следующем:

- выполняют анализ полученных трендов давления в гидростойках по определенным алгоритмам и рассчитывают максимальные скорости нарастания пригрузки гидростоек крепи непосредственно после передвижки секций вне зоны влияния комбайна, при проходе комбайна, после прохода комбайна в зоне и вне зоны его влияния;
- сравнивают полученные максимальные скорости с заданными уставками; при достижении или превышении максимальными скоростями значений уставок срабатывает счетчик, суммирующий число сообщений по перечисленным выше показателям; таким образом, формируется матрица сообщений, которая отражается в виде 2D-карты и графика на экране; далее рассчитывают суммы сообщений за определенные периоды времени, превышения этими суммами уставок фиксируют как предвестники возможных опасных обрушений кровли в лаве.

Уставки для каждой лавы устанавливают перед началом отработки выемочного столба, исходя из накопленного статистического материала по другим лавам, находящимся в схожих горно-геологических и горнотехнических условиях. На основе данных, полученных в результате анализа первого и последующих опасных обрушений кровли, уставки корректируют, что позволяет во всех случаях своевременно получать достоверную информацию о приближении опасных обрушений кровли.

Предвестниками опасных обрушений кровли по совокупности сообщений являются:

- превышение суммарными сообщениями уставок пределов 1, 2, 3: сообщения о превышении скоростей пригрузок при проходе и после прохода комбайна в зоне и вне зоны его влияния; сообщения суммируются за различные периоды времени (1–20 мин, 20–60 мин и 12–48 ч соответственно);
- превышение суммарными сообщениями уставки предела 4: сообщения о превышении скорости пригрузки непосредственно после передвижки крепи; сообщения суммируются за период 10–60 мин.

Прогноз по сообщениям об опасном развитии горного давления в лаве осуществляют по нарастанию скорости пригрузки на крепь выше заданной критической скорости (уставки) и по увеличению частоты срабатывания предохранительных клапанов гидростоек в группе из 15–35 секций за определенный промежуток времени, различный для каждой лавы. При этом частоту срабатывания клапанов в алгоритме преобразуют в скорость пригрузки и также сравнивают с критической скоростью. Эти показатели рассчитывают без учета влияния прохода комбайна, они являются непосредственными признаками опасных обрушений кровли.

Метод визуального анализа включает наблюдение за характером нагружения крепи в каждом цикле очистных работ с фиксированием на экране ПО ПрОК групповых (не менее 10 секций) разгрузок или пригрузок крепи, а также появление в I–III циклах очистных работ степенного закона нарастания давления в гидростойках группы из 3–5 секций.

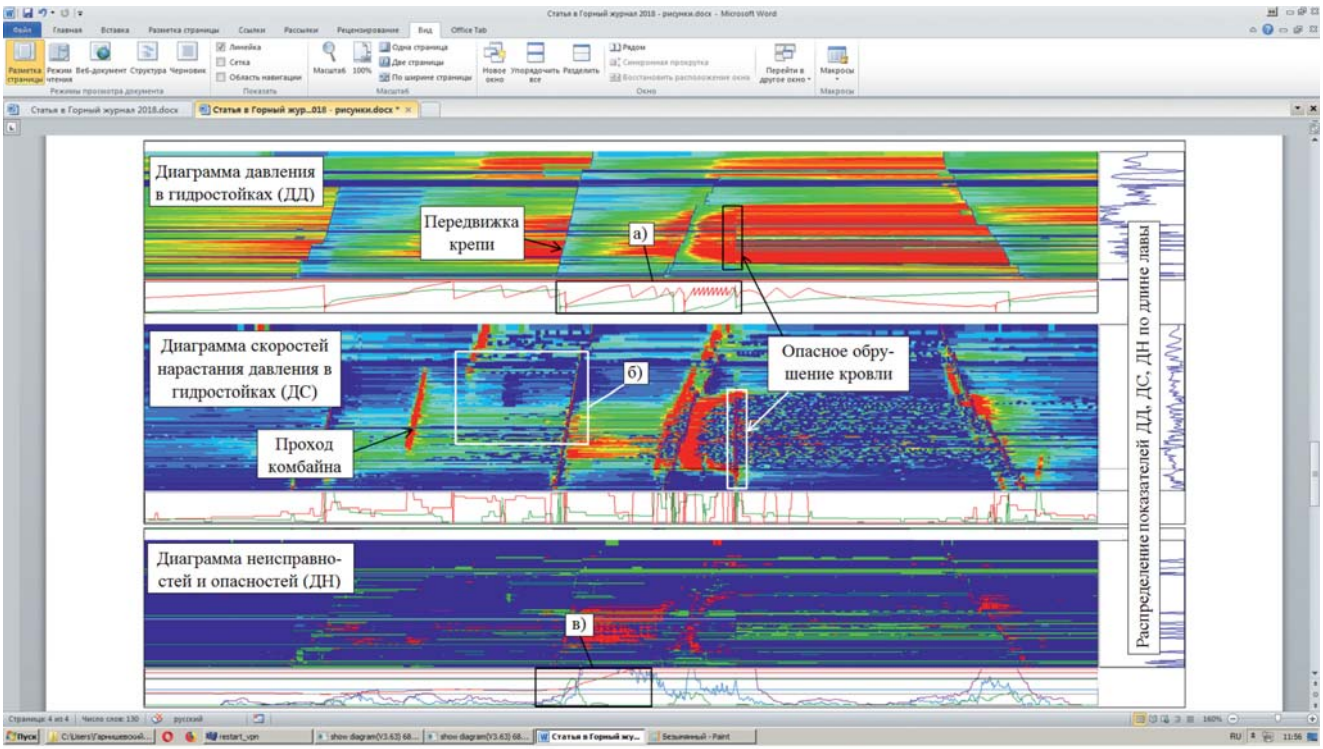
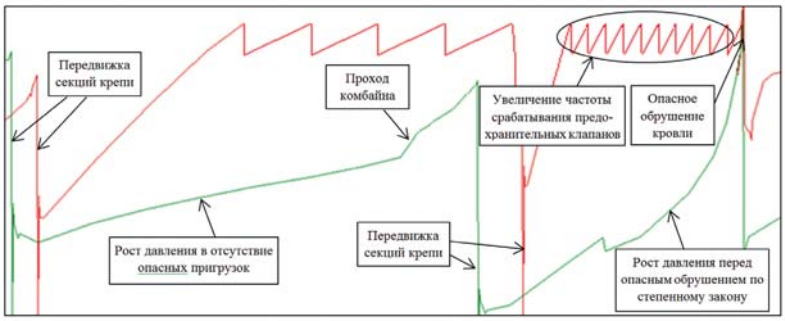
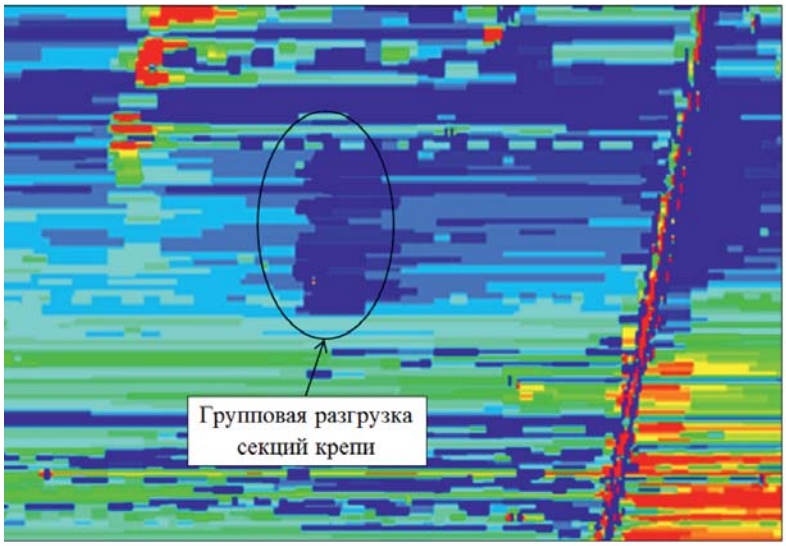


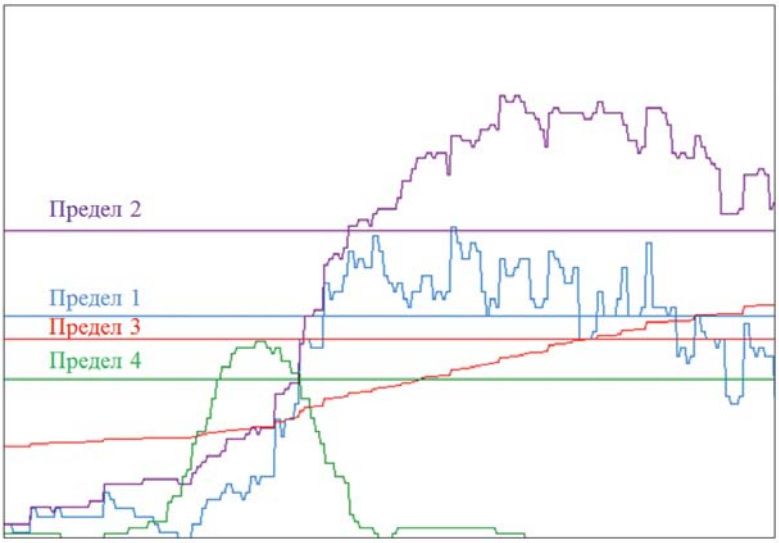
Рис. 2. Диаграммы давления в гидростойках и скорости его нарастания. Скриншот экрана ПО ПрОК с предвестниками и признаками опасного обрушения кровли



а) Рост давления по степенному закону и увеличение частоты работы предохранительных клапанов на графике давления в гидростойках секций крепи



б) Групповая разгрузка секций крепи



в) Превышения суммами сообщений уставок пределов 1, 2, 3, 4

Рис. 3. Детализация диаграммы давления в гидростойках и скорости его нарастания (см. рис. 2)

Применение ПО ПрОК в автоматизированных системах мониторинга горного давления для прогноза опасных обрушений кровли в слоевых лавах

Программное обеспечение ПрОК было использовано в 2016 г. с СМГД X-MANN в нижней лаве № 102 рудника Первого РУ, а в настоящее время применяется для прогноза опасных обрушений кровли в трех нижних и одной верхней слоевых лавах, оснащенных СМГД PressCater.

В процессе проведения исследований установлено, что обрушения кровли в лавах различны по своему воздействию на призабойное пространство и могут быть разделены на интенсивные и опасные.

Интенсивные обрушения отличаются внезапностью проявления со скачкообразным приростом/сбросом давления в гидростойках до нескольких десятков бар у группы из 30–70 секций крепи. В большинстве случаев интенсивные обрушения имеют ряд предвестников их приближения, появляющихся за время от 3–5 мин до 1–3 циклов очистных работ. Интенсивным обрушениям кровли, как правило, предшествует одна или несколько групповых (не менее 10 секций) пригрузок или разгрузок крепи на 30–120 бар (3–12 МПа). Появление данных предвестников указывает на ухудшение геомеханической ситуации в лаве и необходимость перехода с последовательной технологической схемы с отгоном комбайна на его челноковую схему работы с уменьшенной шириной призабойного пространства, а также ограничения скорости подвигания лавы вплоть до ее остановки.

Опасные обрушения кровли развиваются поэтапно с появлением вначале предвестников, а затем непосредственных признаков, которыми являются:

- достижение или превышение скорости нарастания давления в гидростойках и частотой срабатывания предохранительных клапанов критической, заранее заданной для каждой лавы скорости пригрузки за время от 15–40 мин до 1–3 циклов очистных работ;
- нарастание давления в гидростойках группы из 3–5 секций по степенному закону в 1–3 циклах очистных работ.

При появлении указанных признаков ПО ПрОК подает сигнал опасности, после чего работы в лаве останавливают, а обслуживающий персонал выводят из забоя. Очистную выемку возобновляют после обрушения кровли, а при отсутствии обрушения – не ранее 3 ч с момента остановки лавы.

После возникновения осложнений с управлением кровлей в верхней лаве № 11-3 после подработки ее выемочного столба нижней лавой было приня-

то решение о геомеханическом сопровождении данной лавы с использованием СМГД PressCater и ПО ПрОК. Сопровождение было начато при отходе лавы от монтажного штрека на 100 м.

Значения уставок в ПО ПрОК были выбраны с учетом опыта прогнозирования интенсивных и опасных обрушений кровли в нижних слоевых лавах и составили:

по совокупности сообщений:

- уставка предела 1 (12 сообщений, суммируются за 1 мин);
- уставка предела 2 (30 сообщений, суммируются за 30 мин);
- уставка предела 3 (250 сообщений, суммируются за 24 ч);
- уставка предела 4 (40 сообщений, суммируются за 10 мин);

по сообщениям об опасном развитии горного давления:

- число секций в группе – 15;
- критическая скорость нарастания давления в гидростойках – 1,9 бар/мин (скорректирована до 2,5 бар/мин) за время 15 мин при работе крепи в режиме нарастающего сопротивления и за время 20 мин при работе крепи в режиме рабочего сопротивления.

За период отработки выемочного столба в лаве № 11-3 спрогнозировано 10 интенсивных и 14 опасных обрушений кровли. Следует отметить, что все задействованные в ПО ПрОК предвестники и признаки оказались информативными и пригодными для прогноза. Достигнутая высокая достоверность прогноза подтверждается числом появлений предвестников и признаков:

- от 15 до 18 предвестников по совокупности сообщений появляются за время от 1–2 сут до 30 мин перед обрушением;
- 23 из 24 предвестников при прогнозе по групповым пригрузкам или разгрузкам секций крепи появляются за время от 1–3 циклов до 30 мин перед обрушением;
- 14 из 14 признаков при прогнозе по сообщениям об опасном развитии горного давления появляются за время от 1–3 циклов до 15 мин перед обрушением.

Диаграммы давления в гидростойках, скорости его нарастания, а также 2D-карты и графическое изображение сообщений об опасностях ПО ПрОК с предвестниками и признаками опасного обрушения кровли приведены на **рис. 2, 3**.

Выявлено различие в характере опасных проявлений горного давления в лаве. Оно заключается в том, что иногда по аналогии с нижними слоевыми лавами предвестники и признаки опасности появляются за время не более 1–3 циклов до обрушения кровли, а порой геомеханическая ситуация в лаве ухудшается постепенно в течение 5–6 циклов с появлением предвестников и признаков, но прогнозируемое опасное обрушение кровли не происходит.

По мнению авторов, это можно объяснить тем, что при работе лавы № 11-3 под обрушенными породами в них под воздействием опорного давления периодически могла возникать трещина разлома впереди очистного забоя, по которой в кровле образовывался массивный породный блок, статически воздействующий на призабойное пространство. При подходе лавы к трещине нагрузка на забойную крепь постоянно возрастала, а после прохода линии разлома породный блок «ложился» на обрушенные породы без воздействия на забойную крепь. В последующих циклах очистных работ нагрузка на крепь снижалась до уровня, предшествующего появлению в лаве предвестников и признаков.

При быстром нарастании горного давления после выдачи ПО ПрОК аварийного сигнала работы в лаве останавливали и людей выводили из забоя, а в случаях с постепенным ухудшением геомеханической ситуации работу в лаве вели по челноковой технологической схеме до исчезновения признаков и предвестников опасности.

Заключение

Имеющие место динамические проявления горного давления с возникновением аварийных ситуаций являются одной из самых сложных проблем при отработке пласта Третьего калийного горизонта слоевыми лавами. Борьбу с такими явлениями ведут с применением различных защитных мероприятий, в том числе путем прогноза опасных обрушений кровли. Используемые на рудниках ОАО «Беларуськалий» автоматизированные системы мониторинга горного давления СМГД в силу различных причин не обеспечивают необходимой достоверности прогноза. Разработанное в настоящее время для СМГД программное обеспечение ПрОК позволяет повысить достоверность прогноза и безопасность работ за счет возможности принятия необходимых технических решений по снижению интенсивности обрушений кровли и своевременного вывода людей из лав при опасном развитии событий.

Библиографический список

1. *Губанов В. А., Волков Б. А., Петровский Б. И.* и др. Анализ случаев динамических проявлений основной кровли на призабойное пространство лав при слоевой выемке Третьего калийного пласта // Горная механика. 1999. № 2. С. 12–16.
2. *Губанов В. А.* О механизме обрушения пород кровли при слоевой выемке Третьего калийного пласта // Горная механика. 2002. № 3-4. С. 50–64.
3. *Прушак В. Я., Щерба В. Я., Поляков А. Л.* Исследование проявлений горного давления при слоевой выемке Третьего калийного пласта // Материалы. Технологии. Инструменты. 2003. Т. 8. № 1. С. 84–92.
4. *Поляков А. Л., Дакуко Н. А.* Прогнозирование динамических проявлений горного давления при слоевой выемке калийных пластов // Горный информационно-аналитический бюллетень. Региональное приложение: Белоруссия. 2006. Вып. 1. С. 156–165.
5. *Щерба В. Я., Поляков А. Л.* и др. Способ снижения динамических проявлений труднообрушаемой кровли на призабойное пространство // Горная механика. 2006. № 1. С. 68–74.
6. *Саяпин А. К., Подлесный И. А.* Об одном из возможных способов снижения динамических проявлений горного давления при слоевой выемке Третьего калийного пласта // Горная механика. 2006 № 3. С. 92–98.
7. *Петровский Б. И., Поляков А. Л.* и др. Опыт разупрочнения кровли валовых лав на рудниках Старобинского месторождения в начальной стадии отработки выемочных столбов // Горная механика. 2006. № 4. С. 50–55.
8. *Волков Б. А., Петровский Б. И.* Пути повышения эффективности управления кровлей при слоевой выемке Третьего калийного пласта на Старобинском месторождении // Минеральные ресурсы и человек : сб. докл. междунар. конф. – Варна, 2002. С. 43–48.

9. Пат. 7653 РБ, МПК E21C 41/00. Способ двухслоевой разработки мощного пологого пласта полезного ископаемого сложного строения / Б. А. Волков ; заявл. 01.04.2002 ; опубл. 30.09.2003.
10. *Губанов В. А., Пузанов Д. А., Мозговенко М. С.* и др. Исследование проявлений горного давления в подготовительных и очистных выработках при выемке подработанных и оставленных запасов в IV сильвинитовом слое и междустолбовом целике опытной лавой № 11-3 гор. –620 м рудника 3 РУ ОАО «Беларуськалий» // Горная механика и машиностроение. 2017. № 2. С. 5–18.
11. *Прушак В. Я., Гарнишевский А. А., Гавриков А. А.* Опыт применения автоматизированных систем мониторинга горного давления и прогноза опасных обрушений основной кровли в лавах калийных пластов Старобинского месторождения // Инновационное развитие горнодобывающей отрасли : матер. междунар. научн.-техн. Интернет-конф. – Кривой Рог, 2016. С. 89.
12. Пат. 1234 РБ, E21C 39/00. Способ оповещения об опасных обрушениях кровли в лавах и устройство для осуществления способа / Б. А. Волков, П. А. Калугин, А. С. Кириченко, В. А. Сычевский, В. И. Щербина, Б. И. Петровский ; заявл. 20.11.1993 ; опубл. 14.06.1996.
13. *Волков Б. А., Петровский Б. И., Губанов В. А.* и др. Система контроля опасных обрушений кровли в лавах (СКОК-2) на рудниках ПО «Беларуськалий» // Горная механика. 1998. № 1. С. 15–16.
14. *Гавриков А. А., Курчевский А. Н., Хаустович О. Э.* Автоматизированная система управления и контроля горного давления, результаты работы и анализ полученных экспериментальных данных // Горная механика. 2002. № 1. С. 71–80.
15. *Гавриков А. А., Курчевский А. Н., Хаустович О. Э.* Опыт, некоторые результаты эксплуатации и перспектива развития автоматизированной системы управления и контроля горного давления в очистных забоях // Горная механика. 2005. № 2. С. 19–26.
16. *Гавриков А. А., Волчок Ю. П., Курчевский А. Н., Романович А. С.* Новая автоматизированная система контроля горного давления в очистных забоях и перспективы развития технологии управления кровлей лав // Горное оборудование и электромеханика. 2008. № 6. С. 7–14.
17. Система наблюдения за давлением EH-PressCater. URL: http://www.kopex.com.pl/upload/user/ELGOR_2014/RU/A/RU_EH_PressCater_Kopex.pdf (дата обращения: 19.04.2018).
18. *Гарнишевский А. А.* Прогноз опасных динамических проявлений горного давления в нижних лавах при слоевой выемке Третьего калийного пласта Старобинского месторождения // Сб. докл. VII Междунар. конф. по геомеханике. – Варна, 2016. С. 305–310. ГЖ

«GORNYI ZHURNAL», 2018, № 8, pp. 76–81
DOI: 10.17580/gzh.2018.08.11

Prediction of hazardous roof falls in slice mining of potash seam III

Information about authors
B. I. Petrovskiy[1], Chief Researcher, Doctor of Engineering Sciences
A. A. Garnishevskiy[1], Researcher, gss1702@gmail.com
O. M. Chechukha[1], Head of Automation Department
[1] Institute of Mining, Soligorsk, Belarus

Abstract
In the course of slice mining of potash seam III at the Starobin deposit, in lower longwalls, after extraction of upper sylvinite layers, violent dynamic phenomena of rock pressure are observed during roof falls. Rock pressure monitoring systems (RPMS) with the function of hazardous roof fall prediction, used at different times of the mentioned seam mining, are described together with their shortcomings. Hazardous roof fall prediction software (HRFPS) is developed; its feature is a new program module integrating interface and processing of data from all RPMSs operated at the deposit. The structure of Poland-manufacture pressure monitoring system PressCater equipped with the hazardous roof fall prediction hardware/software is presented. The developed HRFPS algorithm includes prediction of hazardous roof falls based on all data and on data on hazardous rock pressure. Furthermore, the prediction system uses the method of visual observation of longwall support behavior under loading in each stoping cycle. Trials of HRFPS in a few longwalls equipped with PressCater show efficiency and reliability of prediction.

Keywords: slice mining, rock pressure, dynamic phenomena, longwall, face area, longwall support, hardware/software, monitoring system, hazardous roof falls, prediction.

References
1. Gubanov V. A., Volkov B. A., Petrovskiy B. I. et al. Analysis of dynamic phenomena in main roof in face area of longwalls in slice mining of potash seam III. *Gornaya mekhanika.* 1999. No. 2. pp. 12–16.
Gubanov V. A. Mechanism of roof rock failure in slice mining of potash seam III. *Gornaya mekhanika.* 2002. No. 3-4. pp. 50–64.
3. Gubanov V. A., Prushak V. Ya., Shcherba V. Ya., Polyakov A. L. Investigation of rock pressure phenomena at a layered excavation of the third potassium seam. *Materialy, Tekhnologii. Instrumenty.* 2003. Vol. 8, No. 1. pp. 84–92.
4. Gubanov V. A. Polyakov A. L., Dakuko N. A. Prediction of dynamic phenomena of rock pressure in slice mining of potash seams. *Gornyi informatsionno-analiticheskiy byulleten.* 2006. Iss. 1. Regional Edition. Belarus. pp. 156–165.
5. Shcherba V. Ya., Polyakov A. L. et al. Method to reduce dynamic phenomena from difficult roof to face area. *Gornaya mekhanika.* 2006. No. 1. pp. 68–74.
6. Sayapin A. K., Podlesnyi I. A. One of possible methods to reduce dynamic phenomena of rock pressure in slice mining of potash seam III. *Gornaya mekhanika.* 2006. No. 3. pp. 92–98.
7. Petrovskiy B. I., Polyakov A. L. et al. Experience of roof weakening in longwalls at the initial stage of mining in extraction panels at Starobin deposit. *Gornaya mekhanika.* 2006. No. 4. pp. 50–55.
8. Volkov B. A., Petrovskiy B. I. Ways of enhancing roof control efficiency in slice mining of potash seam III at the Starobin deposit. *Mineral Resources and Man: International Conference Proceedings.* Varna, 2002. pp. 43–48.
9. Volkov B. A. Method of two-layer mining in complex structure mineral bed. Patent 7653 RB, MPK E21C 41/00. Applied: 04.01.2002. Published: 30.09.2003.
10. Gubanov V. A., Puzanov D. A., Mozgovenko M. S., Erokhin K. A., Podlesnyi I. A. et al. Investigation of rock pressure manifestations in development and production workings by mining of underworked and abandoned reserves in the IV sylvinite layer and inter-panel pillar of the experimental longwall face No. 11-3 on the horizon –620 m of the Third mine group of JSC "Belaruskali". Mining *Mechanical Engineering and Machine-Building.* 2017. No. 2. pp. 5–18.
11. Garnishevskiy A. A., Gavrikov A. A. Experience of application of automated pressure monitoring and hazardous main roof fall prediction systems in potash longwalls at the Starobin deposit. *Innovative Development in Mining: International Scientific–Technical Internet-Conference Proceedings.* Krivoi Rog, 2016. p. 89.
12. Volkov B. A., Kalugin P. A., Kirichenko A. S., Sychevskiy V. A., Shcherbina V. O., Petrovskiy B. I. Method and implementation of warning on hazardous roof falls in longwalls. Patent 1234 RB, E21S 39/00. Applied: 20.11.1993. Published: 14.06.1996.
13. Volkov B. A., Petrovskiy B. I., Gubanov V. A. et al. Hazardous roof fall control system (SKOK-2) in mines of Belaruskali. *Gornaya mekhanika.* 1998. No. 1. pp. 15–16.
14. Gavrikov A. A., Kurchevskiy A. N., Khaustovich O. E. Automated ground control system, results and analysis of experimental data. *Gornaya mekhanika.* 2002. No. 1. pp. 71–80.
15. Gavrikov A. A., Kurchevskiy A. N., Khaustovich O. E. Experience, some results, operation and prospects of automated ground control system in stoping faces. *Gornaya mekhanika.* 2005. No. 2. pp. 19–26.
16. Gavrikov A. A., Volchok Yu. P., Kurchevskiy A. N., Romanovich A. S. New automated ground control system for stoping faces and prospects of technological development in longwall roof control. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika.* 2008. No. 6. pp. 7–14.
17. Pressure monitoring system EH-PressCater. Available at: http://www.kopex.com.pl/upload/user/ELGOR_2014/RU/A/RU_EH_PressCater_Kopex.pdf (accessed: 19.04.2018).
18. Garnishevskiy A. A. Prediction of hazardous dynamic phenomena of rock pressure in lower-lying longwalls during slice mining of potash seam III at the Starobin deposit. *Proceedings of VII International Conference on Geomechanics.* Varna, 2016. pp. 305–310.