

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ
INFORMATION TECHNOLOGIES AND SYSTEMS

УДК 004

Поступила в редакцию 18.07.2015
Received 18.07.2015

Б. А. Залесский¹, В. А. Мисников², Р. С. Жук¹

¹*Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси,
Минск, Беларусь*

²*Научно-производственное унитарное предприятие «Институт горного дела», Солигорск, Беларусь*

**АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ, ПОЛУЧАЕМЫХ
С ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ ГИДРОЦИЛИНДРОВ ЗАБОЙНЫХ КРЕПЕЙ**

Аннотация. Построены алгоритмы анализа данных, получаемых с датчиков давления систем мониторинга, которые установлены на гидростойках забойных крепей, используемых в забоях Старобинского месторождения калийных солей. При разработке алгоритмов процесс анализа данных был разбит на несколько этапов, первый из которых заключается в первичной обработке данных. Исходя из их специфики созданы алгоритмы удаления выбросов и вычисления характеристик, не требующих оценки положения комбайна и состояния крепей. Алгоритмы второго этапа разработаны для выделения циклов в преобразованных данных, вызванных опусканием и передвижением крепей, а также фаз циклов, зависящих от расположения комбайна относительно каждой крепи. Алгоритмы третьего этапа построены для вычисления характеристик данных с горных крепей, связанных с выявленными циклами и их фазами.

Для сравнительного анализа данных и выявления зависимостей между различными характеристиками, а также степени их влияния на проявления горного давления были разработаны модификации алгоритмов вычисления корреляции по сгруппированным данным с различными временными лагами.

Алгоритмы предназначены для использования в автоматизированных системах мониторинга горного давления в лавах рудников месторождений калийных руд, в том числе рудников РУ ОАО «Беларуськалий». Разработанные алгоритмы были программно реализованы. Программные реализации прошли апробацию на больших объемах реальных данных, полученных с датчиков давления забойных крепей, установленных в лавах рудников Старобинского месторождения калийных руд.

В качестве примера использования разработанных алгоритмов приведены результаты оценки зависимости риска проявления горных ударов от скорости проходки лавы. В частности показано, что увеличение скорости подвигания лавы повышает риск проявления ударов по крепям.

Ключевые слова: обработка данных, горные крепи, добыча калийной соли, Старобинское месторождение, мониторинг, скорость проходки, удары по крепям

Для цитирования. Залесский, Б. А. Алгоритмы обработки данных, получаемых с датчиков давления гидроцилиндров забойных крепей / Б. А. Залесский, В. А. Мисников, Р. С. Жук // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2017. – № 3. – С. 118–128.

B. A. Zalesky¹, V. F. Misnikov², R. S. Zhuk¹

¹*United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus*

²*Institute of Mining, Soligorsk, Belarus*

ALGORITHMS TO PROCESS DATA OF PRESSURE IN HYDROCYLINDERS OF BOTTOMHOLE SUPPORTS

Abstract. Algorithms to analyze data produced by pressure sensors mounted on hydraulic cylinders of mine linings, which are exploited in lavas of the Starobin potash deposit, are presented. To build algorithms, data mining process has been represented by three general stages. First of them consists of data preprocessing. Based on data specifics, algorithms of removing outliers as well as determining characteristics independent of tunneling machine location and state of bottomhole supports were included in it. The second stage contains algorithms of finding in the preprocessed data of cycles, which were

created by descent of mining supports, and phases of cycles that depend on location of the tunneling machine relative to those supports. Algorithms of the third stage were built to compute data characteristics connected with the found cycles and their phases.

Besides, modifications of correlation algorithms for aggregated data were developed in order to investigate relationship between the characteristics, including their coupling with behavior of rock pressure.

The algorithms are designed for use in automated monitoring systems of rock pressure in lavas of potash mines, including mines of the Joint Stock Company "Belaruskali". The developed algorithms were programmed. Program realizations were seriously tested on big data supplied by pressure sensors mounted on hydraulic cylinders of bottomhole supports of the Starobin potash deposit.

As an example of application of the developed algorithms, it is shown that acceleration of mining process increases the likelihood of rock blows to the supports.

Keywords: data mining, mining supports, extraction of the potassium salt, Starobin deposit, monitoring, lava penetration rate, blows to the mining supports

For citation. Zalesky B. A., Misnikov V. F., Zhuk R. S. Algorithms to process data of pressure in hydrocylinders of bottomhole supports. *Vesti Natsyonal'nai akademii nauk Belarusi. Seriya fizika-technichnykh nauk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physical-technical series*, 2017, no. 3, pp. 118–128 (in Russian).

Введение. Отработка калийных пластов шахтных полей Старобинского месторождения длинными очистными забоями (лавами) является сложным высокотехнологичным процессом, зависящим от множества различных факторов, влияние которых в настоящее время не может быть оценено в полной мере. Он сопровождается рисками различного рода, одним из которых является риск динамических проявлений горного давления со стороны пород кровли, сопровождающихся их обрушением в призабойное пространство лав и посадкой забойной крепи «на жестко». Поэтому в настоящее время большое внимание уделяется мониторингу безопасности горных работ, позволяющему снизить вероятность наступления нежелательных событий [1–3].

В статье представлены алгоритмы анализа данных, получаемых с установленных на гидростойках забойных крепей датчиков давления, которые используются в забоях Старобинского месторождения калийных солей. В качестве одного из примеров применения указанных алгоритмов приводятся результаты анализа зависимости ударов обрушающейся кровли по крепям очистного забоя Третьего калийного пласта Старобинского месторождения от скорости подвигания лавы, которая выявлена на основе данных, полученных с установленных на гидростойках забойных крепей датчиков давления систем мониторинга X-Man и Kodak.

Задача выявления зависимости ударов кровли по крепям и ее опасных обрушений от различных характеристик ранее исследовалась [4, 5], однако при этом не анализировались данные, полученные с датчиков давления с минутным интервалом в течение длительного периода (за несколько лет) с помощью специально построенных для этого алгоритмов, учитывающих специфику наблюдений.

Разработка алгоритмов анализа упомянутых наблюдений давления является весьма непростой задачей в силу того, что наборы данных представляют собой нестационарные в широком смысле, циклические, но непериодические временные ряды с выбросами и большим количеством пропущенных наблюдений (до 100 % и более от имеющихся). При этом обучающие выборки обрушений кровли имеют малый размер по сравнению с выборками наблюдений давления, они составляют менее чем 0,001 % от общего числа данных.

Все приведенные примеры получены с помощью разработанного программного средства, предназначенного для мониторинга данных с датчиков давления, которые установлены на горных крепях.

С целью уменьшения негативного влияния особенностей данных на результаты анализа наблюдения давления были подвергнуты предварительной обработке, состоящей из: а) автоматического выявления циклов; б) выделения фаз циклов; в) удаления выбросов; г) группировки данных на основе только имеющихся наблюдений (напомним, что в данных имеется большой процент пропусков).

Для выявления зависимости опасных обрушений кровли от скорости подвигания лавы на основе предварительно обработанных данных использовались три разных подхода, основанные на проверенных методах корреляционного и геометрического анализа, а также проверки статистических гипотез.

Все подходы выявили зависимость между обрушениями и скоростью подвигания.

Первичная обработка данных с крепей. Предобработка является стандартным этапом работы с данными. В нашем случае она необходима в силу того, что данные с датчиков гидростоек крепей имеют ряд особенностей, затрудняющих их анализ. Эти данные, в частности, существенно нестационарны – их статистические характеристики изменяются во времени; цикличны, но не периодичны – циклы образованы наблюдениями, полученными с момента постановки крепи под нагрузку до момента ее опускания для последующего перемещения после прохода комбайна; содержат выбросы – нетипичные наблюдения, появление которых вызвано, например, редкими сбоями в работе измерительной аппаратуры или оборудования; содержат большое количество пропусков, достигающее до 100 % и более от числа имеющихся наблюдений; наблюдения, полученные непосредственно в моменты ударов по крепям и обрушений, составляют менее 0,01 % от общего их числа, то есть представляют собой наблюдения очень редкого события.

Как уже упоминалось, данные с датчиков давления, установленных на гидростойках забойных крепей, цикличны (рис. 1). При обычной неаварийной работе крепи каждый новый цикл ее работы начинается в момент поднятия крепи и установки ее под нагрузку, а заканчивается после опускания для передвижения на новый участок лавы. Выделение циклов работы крепи является необходимым шагом предварительной обработки данных, так как для вычисления большинства характеристик состояния лавы нужно знать моменты времени начала и конца циклов, а также и временные интервалы конкретных фаз циклов.

Для автоматического выделения циклов авторами был использован *алгоритм 1*, пошаговое описание которого приведено далее.

Шаг А1.1 (обязательный). Выполняется сортировка данных для приведения их к виду, соответствующему реальному времени их получения.

Шаг А1.2. Выполняется фильтрация данных, поступающих с крепи, с помощью трехточечного медианного фильтра, который дал лучший результат по сравнению с другими известными неадаптивными фильтрами.

Шаг А1.3. Находятся точки $t_{end,k}$ – концов циклов на основе оценки разности $\Delta_t(p) = p_{t-1} - p_t$ значений p_t давлений в момент времени t . Моменты времени $t_{end,k}$, для которых $\Delta_{t_{end,k}}(p) > L$ для наперед заданного порога $L > 0$ считаются концами циклов. На полученных с датчиков

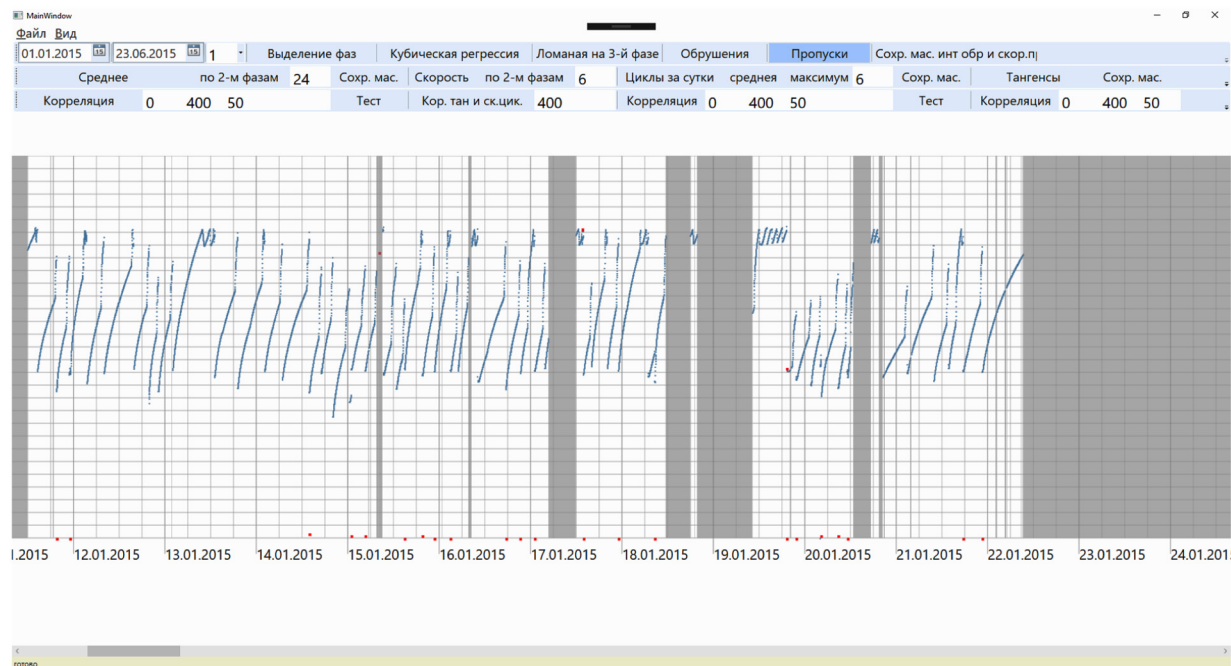


Рис. 1. Вид данных полученных с датчиков давления. Синим цветом отмечены показания датчиков. Красным цветом – найденные выбросы, серым – пропуски

Fig. 1. Example of data produces by pressure sensors. Sensor data are drawn in blue color. Found outliers are shown by red dots. Gray color corresponds to missed data

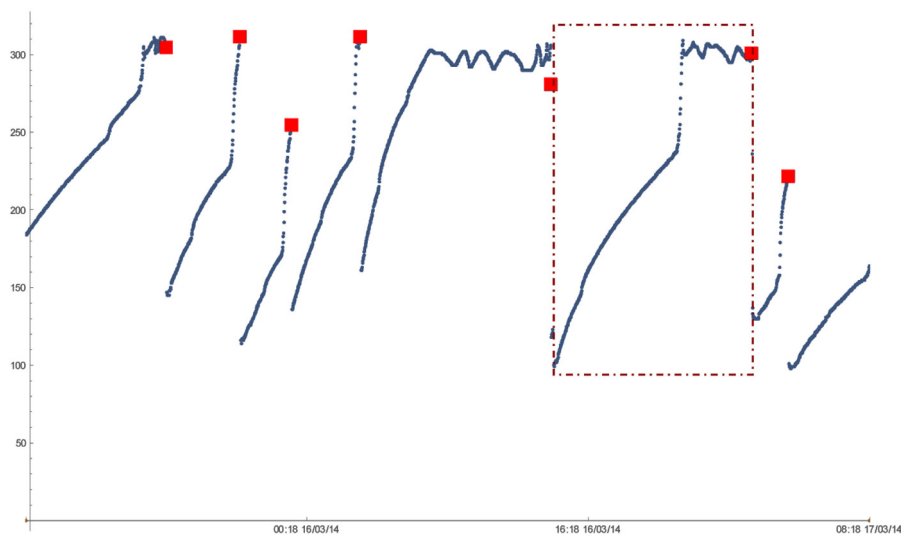


Рис. 2. Концы циклов, найденные на шаге 1.3 алгоритма, отмечены маленькими красными квадратами. Прямоугольником красного цвета обозначен один из циклов, имеющих три фазы

Fig. 2. Ends of cycles, found in step 1.3, are shown by small red squares. Large red square contour selects a recognized cycle having three phases

X-Map данных наилучший результат был получен для $L = 30$. Результаты выделения концов циклов на шаге 1.3 приведены на рис. 2.

Шаг Ал.4. Нахождение начал циклов. За начало k -го цикла полагается точка $t_{beg,k} \in (t_{end,k-1}, t_{end,k})$ минимума давления p_t среди всех точек $t \in (t_{end,k-1}, t_{end,k})$, в которых $|2p_t - p_{t-1} - p_{t+1}| < \rho$ для наперед заданного $\rho > 0$, которое для имеющихся данных полагалось равным $\rho = 10$. Формально

$$t_{beg,k} = \underset{t}{\operatorname{arg\,min}} (p_t),$$

$$\begin{aligned} & t_{end,k-1} < t < t_{end,k} \\ & |2p_t - p_{t-1} - p_{t+1}| < \rho \end{aligned}$$

Результаты выделения начал циклов приведены на рис. 3.

Шаг Ал.5. Находятся только те циклы, в которых $p_{t_{end,k}} - p_{t_{beg,k}} > L$, где L выбрано на шаге 1.3. Начала $t_{beg,k}$ и концы $t_{end,k}$ таких циклов сохраняются в массив.

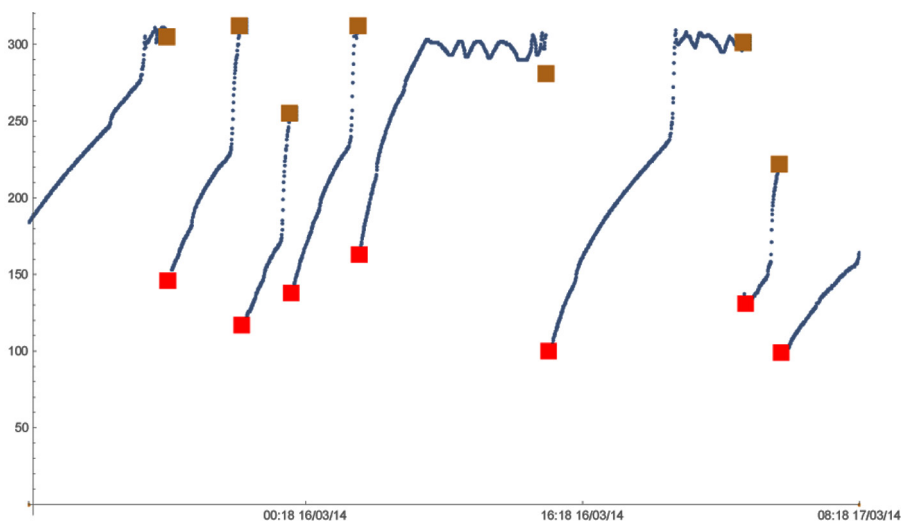


Рис. 3. Начала циклов, найденные на шаге 1.4 алгоритма, выделены красным цветом

Fig. 3. Starting points of cycles, found in step 1.4, are drawn by red squares

Каждый цикл работы крепи в неаварийном режиме содержит две обязательные фазы, которые характеризуются различной скоростью изменения давления (скоростью пригрузки крепи) и необязательную третью фазу (на рис. 2 цикл с тремя фазами обведен прямоугольником). Наличие двух или трех фаз объясняется особенностями поведения кровли лавы при ее проходке. *Первая фаза* цикла стартует после постановки крепи под нагрузку до прохода мимо нее горнодобывающего комбайна. *Вторая фаза* начинается сразу после прохода мимо крепи комбайна и заканчивается либо в момент опускания крепи для ее передвижения (в этом случае в цикле отсутствует третья фаза), либо после достижения максимально допустимой нагрузки на крепь. После этого наступает *третья фаза цикла*, которая характеризуется повторяющимися кратковременными срабатываниями предохранительного клапана гидроцилиндра, незначительно опускающего крепь до момента, когда давление в гидроцилиндре станет допустимым. Кривая давления на третьей фазе цикла имеет вид пилообразной горизонтальной ломаной (см. рис. 2).

Для выделения фаз циклов был предложен алгоритм 2, описание которого приведено ниже, предназначенный для выделения времени начала $t_{3,k}$ третьей фазы цикла (или проверки условия ее отсутствия), а также выделения времени начала второй фазы.

Шаг А2.1. Для каждого выделенного цикла находится точка $t_{3,k}$ ($t_{3,k} \in (t_{beg,k}, t_{end,k})$), которая является первым приближением времени начала третьей его фазы, как решение задачи условной максимизации эмпирического критерия

$$\phi(t) = \sqrt{\left(\frac{t - t_{beg,k}}{t_{end,k} - t_{beg,k}}\right)^2 + \left(\frac{p_t - p_{t_{beg,k}}}{p_{t_{end,k}} - p_{t_{beg,k}}}\right)^2} - \frac{t - t_{beg,k}}{t_{end,k} - t_{beg,k}},$$

в котором начало $t_{beg,k}$ и конец $t_{end,k}$ цикла, найденного алгоритмом 1, p_t – давление в момент времени $t \in [t_{beg,k}, t_{end,k}]$. Время начала третьей фазы цикла $t_{3,k}$ ищется как точка максимума критерия $\phi(t)$ по t , для которых выполняется неравенство $|2p_t - p_{t-1} - p_{t+1}| < \rho$ (при анализе данных с датчиков X-Map использовалось значение $\rho = 10$). Формально решение записывается в виде

$$t_{3,k} = \underset{\substack{t: \\ t_{beg,k} < t < t_{end,k} \\ |2p_t - p_{t-1} - p_{t+1}| < \rho}}{\arg \max} (\phi(t))$$

(первое приближение значение $t_{3,k}$ уточняется на шаге А2.3).

Шаг А2.2. Пусть $\ell(t)$ – прямая, проходящая через точки плоскости $(t_{beg,k}, p_{t_{beg,k}})$ и $(t_{3,k}, p_{t_{3,k}})$. В качестве значения $t_{2,k}$ конца первой фазы (начала второй фазы) цикла выбирается значение, обеспечивающее условный максимум разности

$$t_{2,k} = \underset{\substack{t: \\ t_{beg,k} < t < t_{3,k} \\ |2p_t - p_{t-1} - p_{t+1}| < \rho \\ \ell(t) - p_t > \rho/2, p_t \neq p_{t-1}}}{\arg \max} (\ell(t) - p_t),$$

где значение ρ выбрано на шаге А2.1. Решение данной оптимизационной задачи приведено на рис. 4.

Может случиться так, что на интервале $t_{beg,k} < t < t_{3,k}$ нет ни одной точки, удовлетворяющей одновременно трем условиям $|2p_t - p_{t-1} - p_{t+1}| < \rho$ и $\ell(t) - p_t < \rho/2, p_t \neq p_{t-1}$, тогда в качестве значения $t_{2,k}$ берется $t_{beg,k}$.

Шаг А2.3. Время начала третьей фазы цикла $t_{3,k}$ уточняется на основе алгоритма 3 оценивания частоты срабатывания клапана. В качестве начала третьей фазы берется время t первого локального максимума (если таковой имеется), найденного алгоритмом 3.

Тестирование алгоритма 2 на реальных данных с горных крепей, установленных в соленосных лавах РУ ОАО «Беларуськалий» в Солигорске, показало, что алгоритмы 1 и 2 выделяют

в автоматическом режиме более 90 % циклов. Невыделенными остаются, как правило, неполные циклы либо аномальные циклы, характеризующиеся нетипичным поведением пригрузок давления.

Для оценивания частоты срабатывания клапана гидроцилиндра крепи, а также других характеристик третьей фазы был разработан алгоритм 3, записанный в пошаговом виде.

Шаг А3.1. Вычисляется среднее значение Δ модулей отклонения показаний датчика крепи на третьей фазе от среднего значения показаний, вычисленного на третьей фазе.

Шаг А3.2. Выполняется аппроксимация ломаной в норме пространства ℓ_∞ кривой показаний датчика крепи на третьей фазе с точностью Δ . Узел аппроксимирующей ломаной принимается во внимание, только если его отклонение от ломаной, построенной на предыдущем шаге, больше Δ .

Шаг А3.3. Вычисляются локальные максимумы и локальные минимумы аппроксимирующей ломаной.

Шаг А3.4. Находится среднее значение амплитуды аппроксимирующей ломаной, медиана расстояний между ближайшими локальными максимумами и среднее значение расстояний между ближайшими локальными максимумами.

Шаг А3.5. Вычисленные на шаге А3.4 медиана расстояний между найденными ближайшими локальными максимумами и среднее значение расстояний между найденными ближайшими локальными максимумами принимаются за две разные оценки длины волны периодического процесса срабатывания клапана, на основе которых оценивается частота срабатывания клапана.

Вычислительные эксперименты с модельными и реальными данными показали применимость алгоритма 3 для вычисления частоты срабатывания предохранительного клапана гидроцилиндра. На рис. 5 приведен результат его работы на реальных данных. В рассмотренном случае были выделены все моменты срабатывания клапана.

Предложенные алгоритмы 1–3 имеют сравнительно несложный вид, однако их разработка потребовала значительного времени, которое было затрачено на выбор наиболее точных и надежных версий, так как непосредственное использование известных общих методов и алгоритмов аппроксимации и распознавания давало худшие результаты.

Применение разработанных алгоритмов 1–3 позволило вычислить 65 характеристик циклов работы крепей (установленных в лаве), характеризующих состояние кровли разрабатываемых лав. На основе вычисленных характеристик была выявлена связь между скоростью подвигания лавы и проявлением ударов обрушающейся кровли по крепям.

Анализ влияния скорости подвигания лавы на зарегистрированные удары по крепям и обрушения. Для проведения разведочного анализа были использованы три известных статистических метода, учитывающие специфику имеющихся данных. Методы реализованы в разработанном экспериментальном программном комплексе (ПК), предназначенном для решения сформулированной задачи. В качестве объекта анализа выбраны наблюдения, полученные в период с 11 сентября 2014 г. по 30 июня 2016 г. с крепей, установленных в лаве 102 ОАО «Беларуськалий» и оборудованных датчиками давления XMAN и Kodak, вместе с датами выявленных обрушений и ударов по крепям.

С помощью реализованных в составе экспериментального ПК алгоритмов 1–3 удалось установить, что скорость подвигания лавы, измеренная в числе циклов нагружения крепей в сутки, существенно меняется по времени – она может возрастать от двух до двенадцати и более циклов в течение одних суток и затем уменьшаться до тех же двух циклов за такой же период. При этом такое изменение в течение каждых суток является типичным повторяющимся явлением. На рис. 6 средняя скорость подвигания лавы отображена в виде волнистой полосы в нижней части изображения.

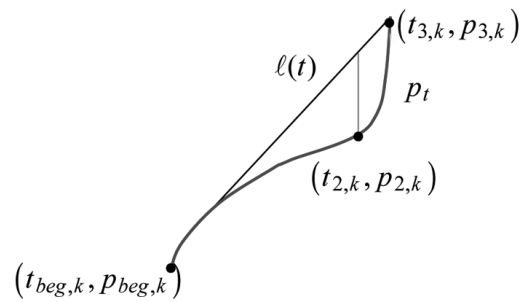


Рис. 4. Нахождение точки $(t_{2,k}, p_{2,k})$ конца первой фазы цикла

Fig. 4. Illustration of determining the point $(t_{2,k}, p_{2,k})$ of the end of the first phase of the cycle

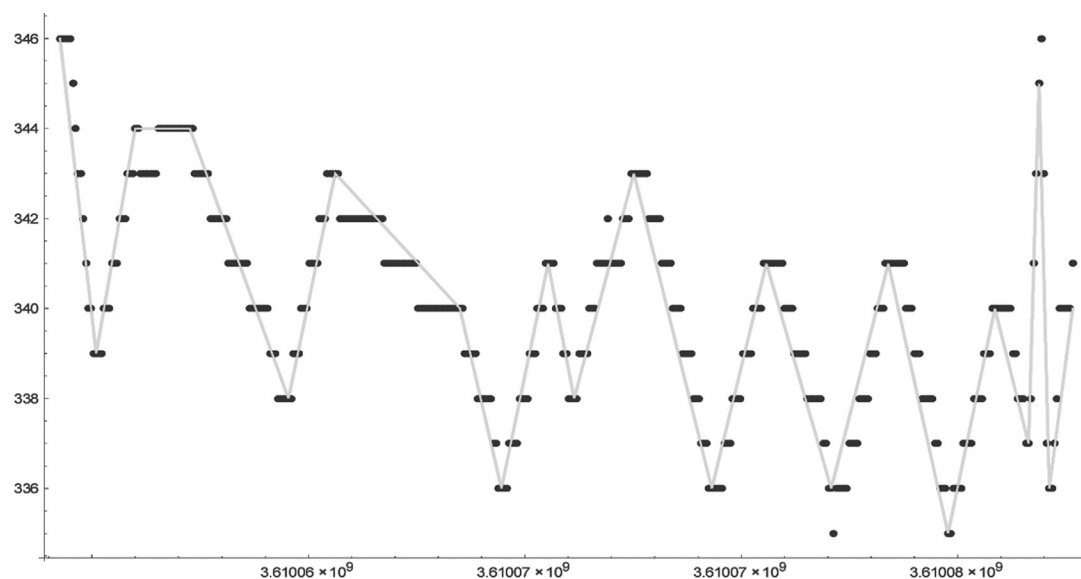


Рис. 5. Ломаная, построенная алгоритмом 3 для оценки частоты срабатывания предохранительного клапана гидростойки горной крепи

Fig. 5. Broken line, built by algorithm 3 to estimate valve opening frequency

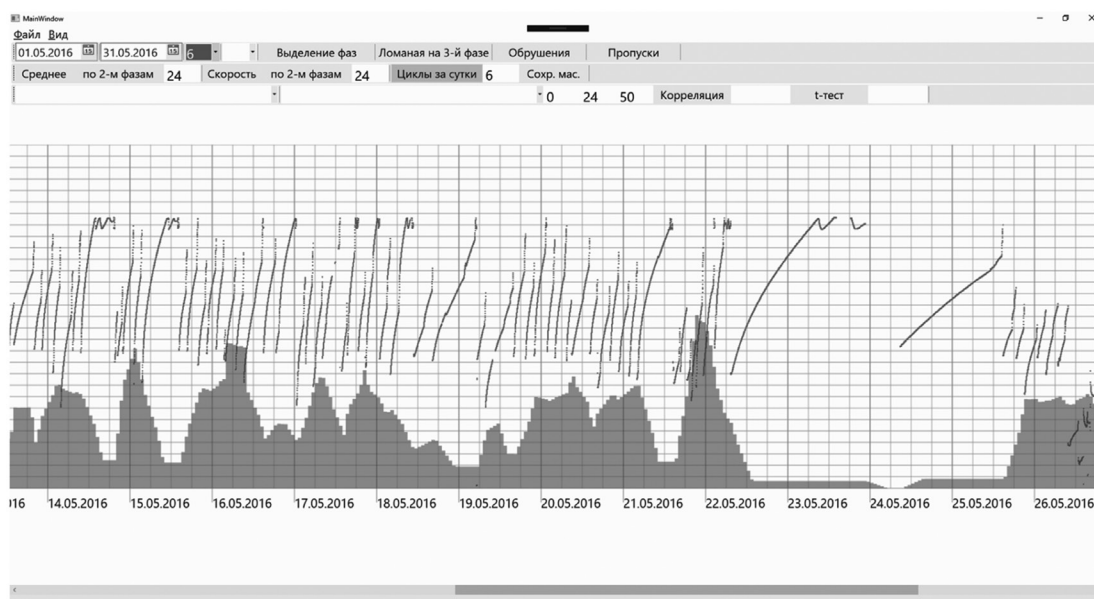


Рис. 6. Скорость подвигания лавы изображена в виде волнистой полосы в нижней части изображения

Fig. 6. Lava penetration rate are depicted by wavy band at the picture bottom

Корреляционный анализ статистической связи скорости подвигания лавы и ударов по крепям проводился по сгруппированным данным. При группировке данных учитывалось реальное число наблюдений, попадающих в каждый интервал группировки. Значения сгруппированных наблюдений выбирались двумя способами: либо как среднее попавших в интервал наблюдений, либо как их медиана. Пустые и слабо заполненные интервалы не рассматривались. Каждому интервалу группировки ставилось в соответствие одно из двух чисел: ноль, если на интервале не был зарегистрирован удар по крепям, и единица – в противном случае. Далее вычислялись коэффициенты корреляции Пирсона с различными временными лагами между сгруппированными данными скорости подвигания лавы и массивом из нулей и единиц, кодирующих отсутствие или наличие ударов по крепям.

Результаты корреляционного анализа показали наличие статистической зависимости массива сгруппированных наблюдений скорости подвигания и массива, кодирующего удары по крепям. Особенностью выявленной закономерности является наличие наибольшей положительной корреляции между ударами по крепям и скоростью подвигания не только в непосредственный момент времени перед ударом, но и за 10–25 ч до него.

В табл. 1 приведены величины коэффициентов корреляции Пирсона между наблюдениями сгруппированной скорости подвигания и значениями признака ударов по крепям при различных величинах временного лага между ними. Величины временного лага между данными выбирались так, чтобы оценить влияние скорости подвигания на будущие удары. Для более тщательной проверки установленной корреляционной связи проводилось дополнительное тестирование, при котором реальные даты ударов по крепям были заменены на выбранные наугад.

Таблица 1. Значения коэффициентов корреляции Пирсона между скоростью подвигания и ударами по крепям

Table 1. Values of Pearson correlation between lava penetration rate and blows to mining supports

Временной лаг, ч	Значение коэффициента корреляции	
	при реальных обрушениях	при случайных обрушениях
0	0,183	0,054
4	0,159	0,038
8	0,144	0,024
12	0,165	0,034
16	0,169	0,040
20	0,141	0,035
24	0,173	0,049
28	0,152	0,040

Нетрудно заметить, что приведенные в табл. 1 значения коэффициента корреляции Пирсона для реальных ударов достигают значимых величин в 3–4 раза больших, чем для выбранных наугад ложных. Во многих случаях, для реальных ударов коэффициенты корреляции бывают в 10 и более раз больше, чем для случайных.

Результаты T-тестов, проведенных для выявления зависимости влияния скорости подвигания лавы на обрушения и удары. В силу того что данные с крепей, характеризующие обрушения или удары, составляют лишь малую часть от всех имеющихся данных, для выявления зависимости влияния скорости подвигания на обрушения и удары были выполнены T-тесты проверки однородности двух выборок из гауссовской генеральной совокупности. Использовались два типа T-теста: с одинаковой дисперсией и разными внутригрупповыми дисперсиями.

Проведены две серии тестов: тесты с реальными обнаруженными обрушениями, а также с обрушениями, заданными случайным образом. Для каждой серии тестов были сформированы две подгруппы наблюдений с крепи. Первая подгруппа соответствовала наблюдениям пригрузок крепей, взятым с отставанием на заданное время перед обрушениями, вторая – остальным наблюдениям. Тестирование на основе T-статистик с общей выборочной дисперсией и различными внутригрупповыми дисперсиями показало, что в случае разбиения данных с крепей на две подвыборки с помощью реальных обрушений и ударов подвыборки оказываются статистически неоднородными – выборочное среднее данных, связанных с обрушениями и ударами (взятых с заданным лагом отставания от времени обрушения), значимо больше среднего остальной части выборки.

В табл. 2 приведены результаты T-тестирования данных с крепи № 1, а в табл. 3 – с крепи № 27 лавы 102 Старобинского месторождения. При тестировании использованы стандартные уровни значимости 5 %. Первая подвыборка была образована данными пригрузки анализируемой крепи, полученными за 2500 мин до обрушения. Вторая подвыборка – остальными данными.

Т а б л и ц а 2. Результаты 5% *T*-тестов данных с крепи № 1 лавы 102Table 2. Results of 5% *T*-tests for data received from mining support № 1 of lava 102

Тип данных в строке	<i>T</i> -тест с общей дисперсией	<i>T</i> -тест с разными дисперсиями
<i>Реальные обрушения</i>		
Гипотеза (об однородности)	Не выполняется	Не выполняется
<i>p</i> -Значение	0,0177	0,0082
Значение <i>T</i> -статистики	2,3915	2,8035
<i>Случайные обрушения</i>		
Гипотеза (об однородности)	Выполняется	Выполняется
<i>p</i> -Значение	0,6508	0,5952
Значение <i>T</i> -статистики	–0,4533	–0,5372

Т а б л и ц а 3. Результаты 5% *T*-тестов данных с крепи № 27 лавы 102Table 3. Results of 5% *T*-tests for data received from mining support № 27 of lava 102

Тип данных в строке	<i>T</i> -тест с общей дисперсией	<i>T</i> -тест с разными дисперсиями
<i>Реальные обрушения</i>		
Гипотеза (об однородности)	Не выполняется	Не выполняется
<i>p</i> -Значение	0,0276	0,00127
Значение <i>T</i> -статистики	2,2155	2,6140
<i>Случайные обрушения</i>		
Гипотеза (об однородности)	Выполняется	Выполняется
<i>p</i> -Значение	0,7145	0,6979
Значение <i>T</i> -статистики	–0,3662	–0,3916

Малые *p*-значения соответствуют малым вероятностям принять гипотезу (об однородности), большие – большим.

Регрессионный анализ влияния скорости подвигания лавы на обрушения и удары по крепям. Анализ проводился на тех же данных с лавы 102 Старобинского месторождения, которые использовались для проведения корреляционного анализа и проверки гипотезы об однородности. Для проведения анализа на плоскости отмечались точки, *X*-координаты которых были равны средней скорости подвигания между соседними обрушениями, а *Y*-координаты – времени, прошедшему между этими обрушениями. Затем была построена квадратичная регрессионная кривая, аппроксимирующая выбранные точки, характеризующие обрушения.

Результаты тестирования приведены на рис. 7, *a*. Из них можно сделать вывод о том, что при увеличении скорости подвигания время между обнаруженными ударами по крепям сокращается.

Для изучения влияния скорости подвигания лавы на удары обрушающейся кровли по крепям была также исследована зависимость расстояний между соседними ударами по крепи от скорости. Для этого на плоскости откладывались точки, *X*-координаты которых были равны средней скорости подвигания между соседними обрушениями, а *Y*-координаты – расстоянию между этими ударами. По этим точкам была построена квадратичная регрессионная линия. Результаты анализа приведены на рис. 7, *b*.

Нетрудно заметить, что обе построенные регрессионные кривые убывают с ростом скорости подвигания. Таким образом, при росте скорости уменьшается как время (рис. 7, *a*), так и расстояние (рис. 7, *b*) между соседними обрушениями.

Проведенные исследования зависимости характера ударов обрушающейся кровли по крепям от скорости подвигания лавы с помощью корреляционного анализа, двух версий статистического *T*-теста и регрессионного анализа позволяют сделать вывод о том, что существует значимая положительная корреляционная связь между временем проявления ударов по крепям и скоростью подвигания лавы. Коэффициент корреляции Пирсона между скоростью подвигания и временем ударов по крепям достигает на сгруппированных данных 0,2, в то время как коэффициент корреляции между скоростью подвигания и выбранными наугад временами ударов (ложных) по крепям не превышает 0,05. *T*-тесты также указывают на существовании связи между скоростью

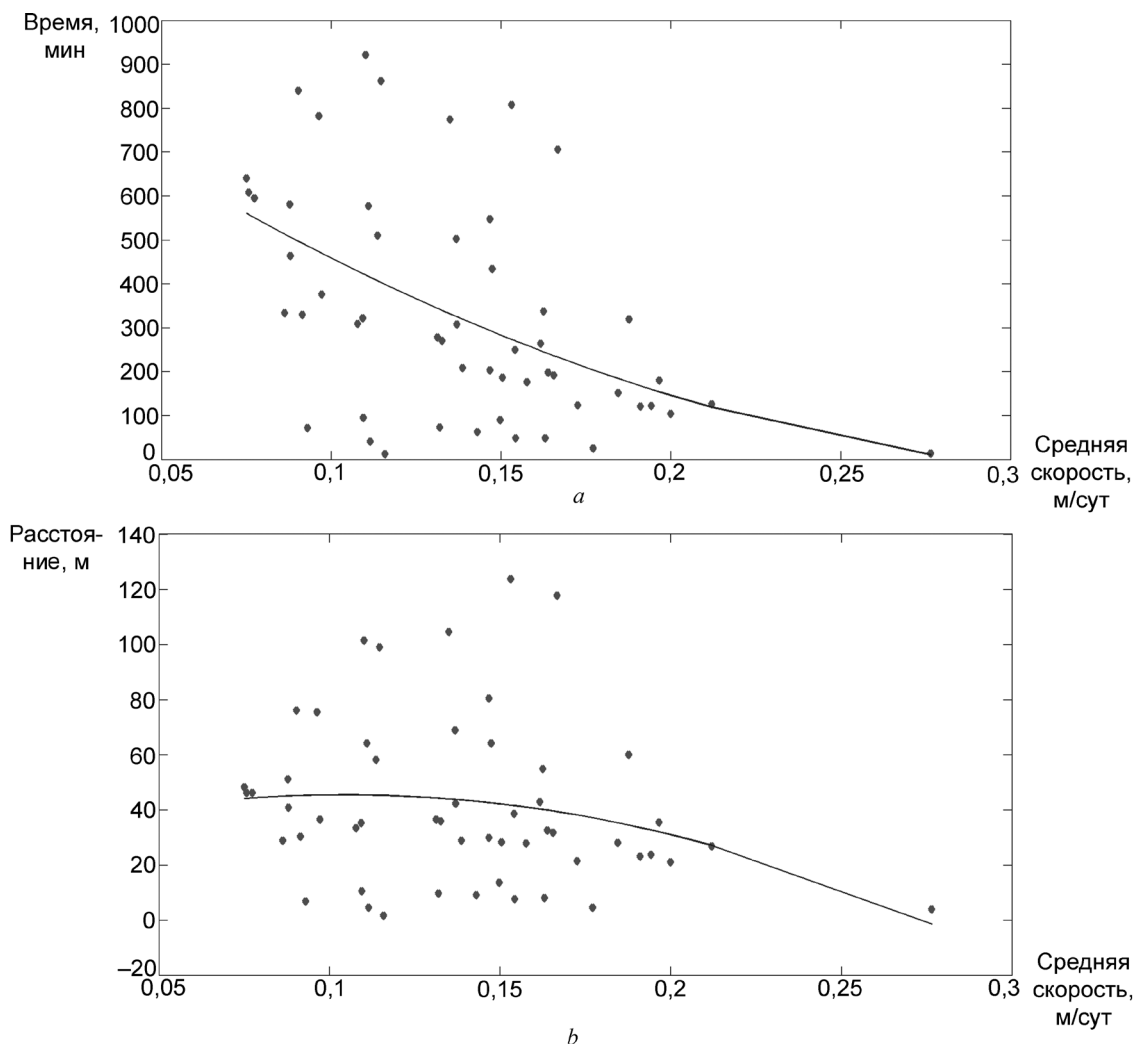


Рис. 7. Построенные точки и приближающая их квадратичная регрессия
 Fig. 7. Selected dots and the quadratic regressions that approximate them

подвигания и проявлением ударов кровли по крепям. Регрессионный анализ зависимости времени и расстояния между соседними ударами по крепям выявил убывание их значений при возрастании скорости подвигания.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о существовании математически обоснованной зависимости проявления ударов по крепям от скорости подвигания лавы. Особенностью выявленной зависимости является связь ударов по крепям с увеличением скорости подвигания в циклах за сутки не только непосредственно перед моментом удара, но и за 15–20 ч до удара.

Логически обоснованным, с нашей точки зрения, является проведение экспериментов по влиянию скорости подвигания лавы на удары по крепям и обрушения, путем организации процесса добычи таким образом, чтобы скорость была как можно ближе к равномерной, не превышающей допустимое техническим регламентом значение.

Заключение. Разработаны алгоритмы анализа данных, полученных с датчиков давления X-Man и Kodak, установленных на гидростойках забойных крепей очистного забоя Третьего калийного пласта Старобинского месторождения.

Разработанные алгоритмы реализованы программно. Выполнен большой объем вычислительных экспериментов на большом объеме реальных данных, полученных с датчиков давления.

В качестве примера применимости разработанных алгоритмов приведены результаты анализа связи проявлений ударов по крепям и обрушений от скорости подвигания лавы. В частности,

показана значимая математическая зависимость между увеличением скорости подвигания и проявлением ударов. Особенностью выявленной зависимости является связь ударов по крепям с увеличением скорости подвигания в циклах за сутки не только непосредственно перед моментом удара, но и за 15–20 ч до удара.

Обнаружено также, что скорость подвигания лавы существенно меняется в течение каждых суток от нескольких до 12 и более циклов, что может иметь негативное влияние на состояние кровли и вызывать удары по крепям и обрушения.

Список использованных источников

1. Гавриков, А. А. Опыт, некоторые результаты эксплуатации и перспектива развития автоматизированной системы управления и контроля горного давления в очистных забоях / А. А. Гавриков, А. Н. Курчевский, О. Э. Хаустович // Горная механика. – 2005. – № 2. – С. 19–26.
2. Новая автоматизированная система контроля горного давления в очистных забоях и перспективы развития технологии управления кровлей лав / А. А. Гавриков [и др.] // Горное оборудование и электромеханика. – 2008. – № 6. – С. 7–14.
3. Петровский, Б. И. Взаимодействие механизированных крепей с кровлей при разработке Старобинского месторождения калийных солей / Б. И. Петровский, В. А. Губанов. – М.: Моск. гос. горн. ун-т, 2003. – 128 с.
4. Кузнецова, А. В. Численное моделирование механического поведения горных пород вокруг выработки при разных скоростях подвигания забоя / А. В. Кузнецова, И. Ю. Смолин // Вестн. Томск. гос. ун-та. Сер. Математика и механика. – 2010. – Т. 10, № 2. – С. 79–87.
5. Исследование состояния горного массива при подвигании лавы / К. М. Бейсембаев [и др.] // Изв. вузов. Горный журнал. – 2013. – № 3. – С. 69–76.

References

1. Gavrikov A. A., Kurchevskii A. N., Khaustovich O. E. Experience, some exploitation results and development perspective of automated system for control and monitoring of rock pressure in clearing faces. *Gornaiia mekhanika = Rock mechanics*, 2005, no. 2, pp. 19–26 (in Russian).
2. Gavrikov A. A., Volchok Iu. P., Kurchevskii A. N., Romanovich A. S. New automated system to control rock pressure in clearing faces and development perspective of technology of control of lavas roof. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika = Mining Machinery and Electromechanics*, 2008, no. 6, pp. 7–14 (in Russian).
3. Petrovskii B. I., Gubanov V. A. *Interaction of the powered roof supports with the lava roof during the development of the Starobin potassium salt deposit*. Moscow, Moscow State Mining University, 2003. 128 p. (in Russian).
4. Kuznetsova A. V., Smolin I. Iu. Numerical simulation of the mechanical behavior of rocks around a mine working at different speeds of lava penetration. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Matematika i mekhanika = Bulletin of the Tomsk State University. Ser. Mathematics and Mechanics*, 2010. vol. 10, no. 2, pp. 79–87 (in Russian).
5. Beisembaev K. M., Veksler Iu. A., Zhetesov S. S., Kappasov N., Mendikenov K. K. Study of the state of the rock mass at lava penetration. *Izvestiia vuzov. Gornyi zhurnal = Proceedings of the Universities. Mining Journal*, 2013, no. 3, pp. 69–76 (in Russian).

Информация об авторах

Залесский Борис Андреевич – доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией, Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси (ул. Сурганова, 6, 220012, Минск, Республика Беларусь). E-mail: zalesky@newman.bas-net.by

Мисников Владимир Аркадьевич – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт горного дела (ул. Козлова, 69, 223710, Солигорск, Республика Беларусь)

Жук Роман Сергеевич – младший научный сотрудник, Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси (ул. Сурганова, 6, 220012, Минск, Республика Беларусь)

Information about the authors

Boris A. Zalesky – D. Sc. (Physics and Mathematics), Head of Laboratory, United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus (6, Sarganov Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: zalesky@newman.bas-net.by

Vladimir A. Misnikov – Ph. D. (Engineering), Leading Researcher, Institute of Mining (69, Kozlov Str., 223710, Soligorsk, Republic of Belarus)

Raman S. Zhuk – Junior Researcher, United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus (6, Sarganov Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus)