

УДК 622; 519.2

Гарматенко А.М. (аспирант)ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк
кафедра «Автоматика и телекоммуникации»Email: alexgarmatenko@gmail.com**АЛГОРИТМ ПОИСКА КРАТКОВРЕМЕННОЙ ПАМЯТИ В ДАННЫХ
АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ**

Исследуется вопрос обеспечения безопасности ведения мероприятий по добыче угля. Обоснована причина модернизации существующих или разработка новых технических средств прогноза безопасности ведения горных работ. Обоснована причина поиска кратковременной памяти в данных об активности импульсов акустической эмиссии (АЭ) угольных пластов. Предложен алгоритм поиска кратковременной памяти в импульсах АЭ. Поставлен критерий оптимальности работы алгоритма для решаемой задачи. Получены и проанализированы результаты работы алгоритма.

Ключевые слова: АЭ, безопасность, шахта, кратковременная память.

Постановка проблемы

В настоящее время главной проблемой горнодобывающих предприятий Украины является вопрос обеспечения безопасности ведения мероприятий по добыче угля, который до сих пор является нерешенным. Весомой причиной существования данной проблемы является увеличение объемов выработки угля и увеличение глубины горных работ [1], что в свою очередь приводит к возникновению в призабойной части пласта газодинамических явлений. Следствием существования газодинамических явлений при подземной выработке угля является постоянное и быстрое изменение (как правило, увеличение) горного давления и газоносности массива [2]. Так, по данным Госдепартамента промышленной безопасности, охраны труда и горного надзора МЧС за последние пять лет (с 2008 по 2013 гг.) на украинских горнодобывающих предприятиях в результате проявления газодинамических явлений пострадали 105 человек (90 из которых погибли) [3].

Низкий уровень безопасности на шахтах Украины напрямую определяет несовершенство используемых в данное время методик прогноза, которые используют специальные службы прогноза. Следует заметить, что качество прогноза выбросов горных пород также зависит и от эффективности технических средств контроля состояния призабойной части массива. Несвершенство последних ставит главным модернизацию существующих или разработку новых [4], с помощью которых можно будет повысить уровень безопасности ведения мероприятий по добыче угля.

Газодинамические процессы, которые возникают в угольных пластах, постоянно влияют на их прочностные характеристики, результатом чего является возникновение трещин [5]. Следует принимать во внимание тот факт, что сила, с которой верхний слой Земли давит на угольный пласт, достигает огромных значений, а давление газа между слоистыми структурами угольного пласта, накопившегося за миллионы лет формирования угленосного слоя Земли, также велико. Поэтому любое воздействие на угольный пласт в процессе добычи угля приводит к тому, что из огромного количества меньших по размеру трещин возникают трещины нового энергетического уровня (трещины большего размера). Тут можно наблюдать иерархическую структуру. Одним из средств, с использованием которого можно проследить процесс формирования трещин, является метод АЭ [6, 7]. Метод

АЭ позволяет улавливать упругие акустические импульсы, возникающие при образовании трещин. Таким образом, основываясь на данных, полученных с использованием данного метода, можно говорить о прочностных характеристиках массива.

Характерной особенностью набора данных о количестве зафиксированных акустических импульсов является их корреляционная зависимость на определенных интервалах времени [8]. Другими словами, характер изменения прочностных характеристик угледобывающего участка массива подчиняется некой закономерности, то есть имеет своего рода память. С точки зрения физики и динамики процесса добычи угля [9], ценной информацией является кратковременное ее проявление (кратковременная память). Это обусловлено большими значениями мгновенной скорости, сложностью и нестационарностью газодинамических процессов, происходящих в шахте. И поиск корреляционных зависимостей на больших интервалах времени не является корректным.

Цель работы

Повышение эффективности анализа данных АЭ угольных пластов за счет разработки алгоритма поиска кратковременной памяти.

Постановка задачи

Разработать алгоритм поиска кратковременной памяти на основе анализа данных АЭ угольных пластов; проанализировать его работу при разной степени активности импульсов АЭ.

Решение задачи и результаты исследований

Основу алгоритма составляет корреляционный анализ и математические основы теории вероятности и математической статистики. Общая структура алгоритма представлена в виде трех этапов.

Первый этап получения данных состоит в следующем: задается скользящее окно длиной A , и внутри каждого окна в течение всего исходного набора данных (для достижения максимальной разрешающей способности результатов шаг смещения равен 1) рассчитывается интервал корреляции (1) [10]. При достижении конца исследуемого ряда выполняется агрегирование набора данных по формуле 2 [11]. Процесс будет выполняться до тех пор, пока не достигнут предельно заданный уровень агрегирования.

$$\tau_i = \sum_{i=1}^N |r_i|, \quad (1)$$

где r_i - значение автокорреляционной функции в i -й точке;

N - длины автокорреляционной функции;

τ_i - интервал корреляции в i -м скользящем окне.

$$Y_j = \sum_{i=m}^{m+n-1} \frac{y_i}{n}, \quad (2)$$

где y_i - i -е значение в данных о количестве зафиксированных импульсов АЭ;

m - начальная точка скользящего окна;

n - уровень агрегирования;

Y_j - j -е значение в агрегированных данных о количестве зафиксированных импульсов АЭ.

Второй этап: рассчитываются два коэффициента вариации интервалов корреляции по формулам 3, 4 [11]. Отличия результатов двух коэффициентов небольшие, однако при неравномерном распределении величин интервалов корреляции ценность для анализа представляет коэффициент вариации, рассчитанный по формуле 4.

$$K_{MO} = \frac{CKO(\tau(1:N))}{MO(\tau(1:N))}, \quad (3)$$

где $\tau(i)$ - i -е значение интервала корреляции;

N - длина массива интервалов корреляции;

$CKO(\tau(1:N))$ - среднеквадратическое отклонение интервала корреляции;

$MO(\tau(1:N))$ - математическое ожидание интервала корреляции;

K_{MO} - коэффициент вариации интервала корреляции.

$$K_p = \frac{CKO(\tau(1:N))}{P(\tau(1:N))}, \quad (4)$$

где $P(\tau(1:N))$ - медиана интервала корреляции;

K_p - коэффициент вариации интервала корреляции.

Третий этап состоит в анализе полученных результатов и будет показан ниже.

Следует отметить, что проявление кратковременной памяти следует производить на интервалах данных от 30 минут до 12 часов / 720 мин. Это обусловлено сложностью и нестационарностью газодинамических процессов, происходящих в шахте. Также следует брать во внимание скорость выработки угля, иными словами, за период 12 часов место выработки угля существенно изменяется. А искусственно рассчитанная корреляционная зависимость в данных на интервале больше 12 часов будет представлять собой ни что иное, как проявление ложных зависимостей и ничего общего с процессом, происходящим сейчас, представлять не будет.

Задача агрегирования данных состоит в удалении производственных шумов или ошибок снятия данных. Это работает следующим образом: внося некую задержку в данные, повышается доля в них низкочастотной составляющей и уменьшается доля высокочастотной, то есть мы имеем дело с фильтром низких частот. Величина уровня агрегирования, как правило, зависит от частоты дискретизации исходных данных, но также следует учитывать тот факт, что процедура агрегирования приводит к искажению данных. Таким образом, критерием оптимальности работы алгоритма для решаемой задачи является минимум значения коэффициентов вариации при:

- минимально возможном значении уровня агрегирования;
- минимально возможном значении длина скользящего окна;
- максимально возможном значении интервала корреляции.

В исследовании задействованы данные об импульсах АЭ, зафиксированных на одной из угольных шахт Украины за период 30 дней (см. рис. 1).

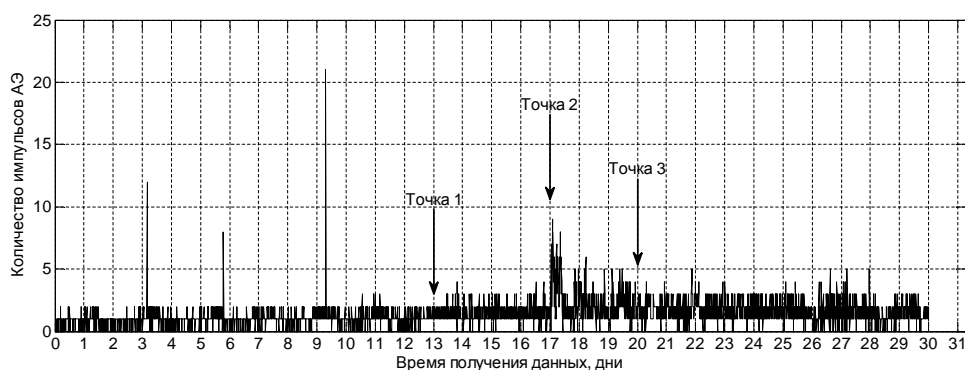


Рисунок 1 – Исходные данные об активности импульсов АЭ

Для анализа в исходном ряде данных будут выделены 3 точки старта (см. рис. 1). Точка 1 будет завершать 13-й день получения данных, точка 2 – 17-й день и точка 3 – 20-й день. Логика выбора точек состоит в следующем: конец 13-го дня (точка 1) характеризуется началом увеличения активности фиксируемых импульсов АЭ, что приводит к формированию длительного участка с большой активностью импульсов АЭ (точка 2). В точке 3 (конец 20-го дня) завершается период высокой активности фиксируемых импульсов и начинается период, схожий по характеру изменения активности с тем, который наблюдался до точки 1. Задачи исследования:

1) зафиксировать наличие кратковременной памяти в импульсах АЭ при разных характерах изменения активности импульсов АЭ;

2) определить минимально необходимый объем данных (импульсов АЭ), которого будет достаточно для решения задачи 1.

Одним из требований проведения прогноза выбросоопасностей в угольном массиве является максимально быстрое вовлечение системы прогнозирования в технологический процесс, что явно зависит от объема входных данных. Поэтому, требования для решения этих задач будут сводиться к не только поставленному выше критерию оптимальности, но и минимизации выходных данных, получаемых при решении задачи 2.

В результате работы алгоритма были получены следующие результаты (см. табл. 1, 2, 3).

Таблица 1 – Результаты работы алгоритма поиска кратковременной памяти для точки 1

объем входных данных, дни / мин	интервал корреляции, мин	уровень агрегирования	длина скользящего окна, мин
1 / 1440	60	3	580
2 / 2880	60	3	670
3 / 4320	60	4	720
4 / 5760	60	4	650
5 / 7200	60	4	620

Таблица 2– Результаты работы алгоритма поиска кратковременной памяти для точки 2

объем входных данных, дни / мин	интервал корреляции, мин	уровень агрегирования	длина скользящего окна, мин
1 / 1440	90	4	700
2 / 2880	100	4	720
3 / 4320	80	4	720
4 / 5760	70	4	720

Таблица 3– Результаты работы алгоритма поиска кратковременной памяти для точки 3

объем входных данных, дни / мин	интервал корреляции, мин	уровень агрегирования	длина скользящего окна, мин
1 / 1440	80	4	680
2 / 2880	70	4	690
3 / 4320	70	4	720
4 / 5760	70	4	720

В таблицах выше показаны результаты работы алгоритма, а именно: объем входных данных, в котором осуществляется поиск кратковременной памяти; интервал корреляции, под которым подразумевается в решаемой задаче величина кратковременной памяти; уровень агрегирования данных, позволяющий модифицировать данные в наиболее

информативную временную последовательность; длина скользящего окна, внутри которого в течение анализируемого набора данных происходит расчет параметров (1,3,4).

По результатам работы алгоритма можно сказать, что данные об активности импульсов АЭ обладают кратковременной памятью. Об этом свидетельствуют результаты поиска кратковременной памяти в различных испытываемых точках. Следует учесть, что если брать во внимание характер изменения главного показателя работы алгоритма, а именно интервала корреляции, то можно заметить следующее:

- увеличение объема входных данных не приводит к увеличению интервала корреляции (см. табл. 1, 2, 3). Так, для точки 1 интервал корреляции всегда был на уровне 60 мин;

- процедура агрегирования данных приводит к увеличению интервала корреляции (см. табл. 1, 2, 3), однако на высоких уровнях агрегирования в силу искажения данных процедура существенно снижает ценность результатов;

- максимально возможное значение длины скользящего окна для получения наилучшего (в частности, наибольшего) значения интервала корреляции не всегда необходимо (см. табл. 1, 3). Так, длина окна была во многих случаях меньше максимальной = 720 мин.

Наиболее оптимальные результаты работы алгоритма сведены в табл. 4.

Таблица 4 – Наиболее оптимальные результаты работы алгоритма поиска кратковременной памяти для точек 1, 2, 3

Номер точки	объем входных данных, дни / мин	интервал корреляции, мин	уровень агрегирования	длина скользящего окна, мин
1	1 / 1440	60	3	580
2	2 / 2880	100	4	720
3	1 / 1440	80	4	680

Таким образом, из полученных результатов следует, что поиск кратковременной памяти в реальном времени с добавлением в исходный ряд новых данных об активности импульсов АЭ должен выполняться с постоянным уточнением результатов, то есть непрерывно. Для разных точек анализа в зависимости от активности импульсов АЭ результаты работы алгоритма различны (см. табл. 1, 2, 3, 4) и требуют тщательного анализа. Это подтверждается всей сложностью и нестационарностью газодинамических процессов, происходящих в шахте.

Выводы

1. Исследован вопрос обеспечения безопасности ведения мероприятий по добыче угля.
2. Обоснована причина поиска кратковременной памяти в данных об активности импульсов АЭ угольных пластов.
3. Предложен алгоритм поиска кратковременной памяти в данных АЭ.
4. Поставлен критерий оптимальности работы алгоритма для решаемой задачи.
5. Получены и проанализированы результаты работы алгоритма. По результатам работы алгоритма можно сказать, что данные об активности импульсов АЭ обладают кратковременной памятью. Однако, для разных точек анализа в зависимости от активности импульсов АЭ работа алгоритма не однозначная и требует тщательного анализа.

Список использованной литературы

1. Украинские шахтеры выдали на-гора 85 млн тонн угля. [Электронный ресурс]. 2013. Режим доступа: http://economics.lb.ua/state/2013/01/03/184542_ukrainskie_shahteri_vidali_nagora_85.html (дата звернення: 30.04.2014).

2. Маловичко А.А. Горные удары / А.А. Маловичко // Природные опасности России. - М.: Крук, 2000. - 296 с.
3. Список: Аварии на шахтах Украины. [Электронный ресурс]. 2014. Режим доступа:
http://miningwiki.ru/wiki/%D0%A1%D0%BF%D0%B8%D1%81%D0%BE%D0%BA:%D0%90%D0%B2%D0%B0%D1%80%D0%B8%D0%B8_%D0%BD%D0%B0_%D1%88%D0%B0%D1%85%D1%82%D0%B0%D1%85_%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D0%B8%D0%BD%D1%8B (дата звернення: 30.04.2014).
4. Дегтяренко І.В. Розробка та дослідження методів автоматизованого аналізу даних акустичної емісії вугільних пластів / І.В. Дегтяренко, О.М. Гарматенко. // Науково-практична конференція Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт за напрямом «Інформатика, обчислювальна техніка та автоматизація». – Севастопіль: СевНТУ, 2012. – с. 46-50.
5. Кулаков Г.И. Акустическая эмиссия и стадии процесса трещинообразования горных пород / Г.И. Кулаков, Г.Е. Яковицкий // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. - 1993. - № 2. - С. 11-15.
6. Деглін Б.М. Испытания экспериментального образца звукоулавливающей аппаратуры «ЗУА-98» / Б.М. Деглін, А.А. Мелконян, В.Л. Овчаренко // Журнал «Уголь Украины». - 1999. - № 1 - С. 26-34.
7. Виноградов С.Д. Акустические наблюдения процессов разрушения горных пород / С.Д. Виноградов. - М.: Наука, 1964. - 84 с.
8. Дегтяренко І.В. Оцінка показника Херста даних акустичної емісії вугільних пластів / І.В. Дегтяренко, О.М. Гарматенко // Матеріалі 16 міжнародного молодіжного форуму «Радиоелектроника и молодеж в 21 веке». Международная конференция «Радиоэлектронное приборостроение как основа высокотехнологического обновления всех отраслей производства». – Харків: ХНУРЕ, 2012. – С. 216-217.
9. Гарматенко А.М. Алгоритм поиска кратковременной памяти в данных акустической эмиссии // Тринадцята міжнародна науково-технічна конференція «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах». – Одеса: Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова, 2014.
10. Autocorrelation. [Електронний ресурс]. 2013. Режим доступу:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Autocorrelation> (дата звернення: 30.04.2014).
11. Крамер Г. Математические методы статистики: Пер. с англ. / Под ред. А.Н. Колмогорова М.: Мир, 1975. - 648 с.

References

1. LB.ua (2013), “*Ukrainskiye shakhtery vydali na-gora 85 mln tonn uglya*”, available at: http://economics.lb.ua/state/2013/01/03/184542_ukrainskie_shahteri_vidali_nagora_85.html, (Accessed 30 Apr 2014).
2. Malovichko, A.A. (2000), *Gornyye udary* [Prirodnyye opasnosti Rossii], Kruk, Moscow, Russia.
3. MiningWiki (2014), “*Spisok: Avarii na shakhtakh Ukrainy*”, available at: http://miningwiki.ru/wiki/%D0%A1%D0%BF%D0%B8%D1%81%D0%BE%D0%BA:%D0%90%D0%B2%D0%B0%D1%80%D0%B8%D0%B8_%D0%BD%D0%B0_%D1%88%D0%B0%D1%85%D1%82%D0%B0%D1%85_%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D0%B8%D0%BD%D1%8B, (Accessed 30 Apr 2014).
4. Degtyarenko, Í.V., Garmatenko O.M. (2012), “ Development and research the methods of automated analysis of acoustic emission data in coal beds”, *Naukovo-praktichna konferentsiýa Vseukraïns'kogo konkursu students'kikh naukovikh robít za napryamom «Ínformatika, obchislyuval'na tekhnika ta avtomatizatsiýa*», pp. 46-50.

5. Kulakov, G.I. (1993), *Akusticheskaya emissiya i stadii protsessa treshchinoobrazovaniya gornyx porod* [Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh], no. 2, pp. 11-15.
6. Deglin, B.M. (1999), "Ispytaniya eksperimental'nogo obraztsa zvukoulavlivayushchey apparatury «ZUA-98»", *Zhurnal «Ugol' Ukrainy»*, no. 1, pp. 26-34.
7. Vinogradov, S.D. (1964), *Akusticheskiye nablyudeniya protsessov razrusheniya gornyx porod*, Nauka, Moscow, 84 p.
8. Degtyarenko, Í.V., Garmatenko A.M. (2012), "Hurst parameter estimation of acoustic emission data in coal beds", *Mezhdunarodnaya konferentsiya «Radioelektronnoye priborostroyeniye kak osnova vysokotekhnologicheskogo obnovleniya vsekh otrasley proizvodstva»*, pp. 216-217.
9. Garmatenko A.M. (2014), "Search algorithm of short-term memory in the acoustic emission data", *Trynadtsyata mizhnarodna naukovo-tekhnichna konferentsiya «Vymiryuval'na ta obchyslyuval'na tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh»*.
10. MiningWiki (2014), "Autocorrelation", available at: <http://en.wikipedia.org/wiki/Autocorrelation>, (Accessed 30 Apr 2014).
11. Cramer, H. (1975), *Matematicheskiye metody statistiki* [Mathematical methods of statistics], Mir, Moscow, Russia.

Поступила в редакцію:
20.05.2014 г.

Рецензент:
д.т.н., проф. Ю.А. Скобцов

О.М. Гарматенко

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», м. Донецьк

Алгоритм пошуку короткочасної пам'яті в даних акустичної емісії вугільних пластів.
Досліджується питання забезпечення безпеки ведення заходів з видобутку вугілля. Обґрунтована причина модернізації існуючих або розробка нових технічних засобів прогнозу безпеки ведення гірничих робіт. Обґрунтована причина пошуку короткочасної пам'яті в даних про активність імпульсів АЕ вугільних пластів. Запропоновано алгоритм пошуку короткочасної пам'яті в імпульсах АЕ. Поставлено критерій оптимальності роботи алгоритму для розв'язуваної задачі. Отримано і проаналізовано результати роботи алгоритму.

Ключові слова: АЕ, безпека, шахта, короткочасна пам'ять.

AM Garmatenko.

Donetsk National Technical University

Search algorithm of short-term memory in the acoustic emission data of coal beds. *Article is devoted to the search of short-term memory in the acoustic emission data of coal beds. The aim of the article is to increase the effectiveness of acoustic emission data analysis by developing search algorithm of short-term memory. To formation the aim of article influenced existence the main problem of coal mining companies in Ukraine - the question of ensuring a high level of safety in coal mining. Thus, according to the State Service of Mining Supervision and Industrial Safety of Ukraine for the last five years (from 2009 to 2014) in the Ukrainian mining companies, as a result of gas-dynamic phenomena manifestations, 105 people have suffered (90 of whom died). Low level of safety in coal mines directly determines the imperfection of the currently used tools for the forecasting dangerous situations. It should be noted that coal beds' cracks are occurred in coal mining. Formation of cracks directly determines the strength characteristics of coal beds. One of the methods to trace the formation of cracks is the AE method. From the viewpoint of physics and dynamics of coal mining, valuable information is short-term memory as the main feature of the*

formation of cracks. This is due to large values of the instantaneous velocity, complexity and unsteady of gasdynamic processes occurring in the mines. And the searching long-term correlations are not correct. To search short-term memory in AE impulses the algorithm for finding short-term memory is proposed. For the most correct and informative results the optimality criterion of the algorithm was set. The results of the algorithm were obtained and analyzed. According to the results of the algorithm the AE impulses have short-term memory. However, finding the short-term memory in real time data must be performed with permanent refinement of the results (when adding new activities of AE impulses to the original series), i.e. continuously. According to the activity of AE impulses the results of algorithm in different data sections are different and required careful analysis.

Keywords: AE, safety, mine, short-term memory.



Гарматенко Александр Михайлович, Украина, окончил Донецкий национальный технический университет, аспирант кафедры автоматки и телекоммуникаций, ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет» (ул. Артема, 58, г. Донецк, 83001, Украина).

Основное направление научной деятельности - разработка и модернизация современных методов и алгоритмов прогнозирования данных акустической эмиссии угольных пластов.