УДК 622.831.322

ЗОНИРОВАНИЕ УЧАСТКОВ ПЛАСТОВ НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ ПО В ИДАМ И СТЕПЕНИ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ

Зыков Виктор Семенович[1],
доктор техн. наук, профессор, гл. научн. сотр., e-mail: vnimizvs@mail.ru
Непомнищев Иван Леонидович[2],
младший научный сотрудник, e-mail: yot@yandex.ru
Абрамов Игорь Леонидович[2],
кандидат техн. наук, доцент, ст. научн. сотр., e-mail: abramov@icc.kemsc.ru

[1]Кемеровский филиал «ВНИМИ», 650000, Кемерово, Советский проспект 63а
[2] Институт угля СО РАН. 650065 г. Кемерово, пр. Ленинградский, 10

Аннотация.

Актуальность работы. *Решение проблемы предотвращения геодинамических явлений на мощных и высокогазоносных пластах Кузнецкого угольного бассейна при росте нагрузки на очистной забой.*

Цель работы: *Совершенствование технологии прогноза опасности по геодинамическим явлениям в очистных забоях угольных шахт на основе применения многоуровневой ГИС- модели динамического состояния углевмещающего массива.*

Методы исследования: *Для построения нерегулярных триангуляционных сетей использован метод Делоне, позволяющий получить карты с геоинформационными полями характеристик геодинамической опасности.*

Результаты: *Выполнена апробация метода геодинамического зонирования угольных пластов по практическим данным для регионального прогноза потенциально выбросоопасных зон.*

Ключевые слова: *угольная шахта, геодинамические явления, очистной забой, метод Делоне, геополе, геодинамическое зонирование.*

Добыча угля подземным способом требует повышенного внимания к проблемам безопасного ведения горных работ. Одной из них является предупреждение проявлений опасности по геодинамическим явлениям (ГДЯ).

Происходящие на угольных шахтах явления классифицируются по классам и видам [1-6]. Мероприятия по предотвращению ГДЯ должны соответствовать конкретному виду (видам) динамической опасности, которая может проявиться в конкретной ситуации [7-10]. Для достижения этой цели должны применяться совершенные методы прогноза, позволяющие своевременно, на различных этапах разработки угольных месторождений, устанавливать опасные по ГДЯ участки и зоны угольных пластов, а также дифференцировать их по видам геодинамической опасности.

В этой связи возникла задача разработки современной технологии прогноза (контроля) за ГДЯ при ведении очистных работ на угольных пластах. В основу ее решения положено новое научное направление − геодинамическое зонирование подготовленных к выемке участков угольных пластов (ГЗУП) на базе применения многоуровневой ГИС-модели динамического состояния углевмещающего массива [11]. Создана методика построения ГИС-модели, позволяющей комплекс показателей свойств угля, определяющих геодинамическое состояние угольного пласта, функции распределения которых в пространстве недр (геоинформационные поля) имеют неявный характер, с учетом пригрузки в зонах повышенного горного давления, разгрузки в надработанных и подработанных зонах и влияния тектонических нарушений, представить совокупностью условных топографических поверхностей и применить горно-геометрические законы для оперирования этими функциями.

Для примера на рис. 1 в пространственном изображении показан участок пласта в виде выемочного столба и соответствующие ему четыре геоинформационных поля, каждое из которых выражает распределение численных значений, определяющих одно из следующих свойств пласта: газоносность угля, максимальную начальную скорость газовыделения из интервала пробуренного по пласту контрольного шпура, прочность по прочностномеру П1 наиболее слабой пачки в пласте, рабочую влажность угля. Эти свойства являются показателями потенциальной выбросоопасности пласта. Имея геоинформационные поля и нанесенные на них изолинии, отражающие изменение показателя, можно нанести на них области, соответствующие зонам в пределах выемочного столба с характерными для выбросоопасных зон параметрами. Общая для проекций всех этих областей на пласт зона представляет собой потенциально выбросо-

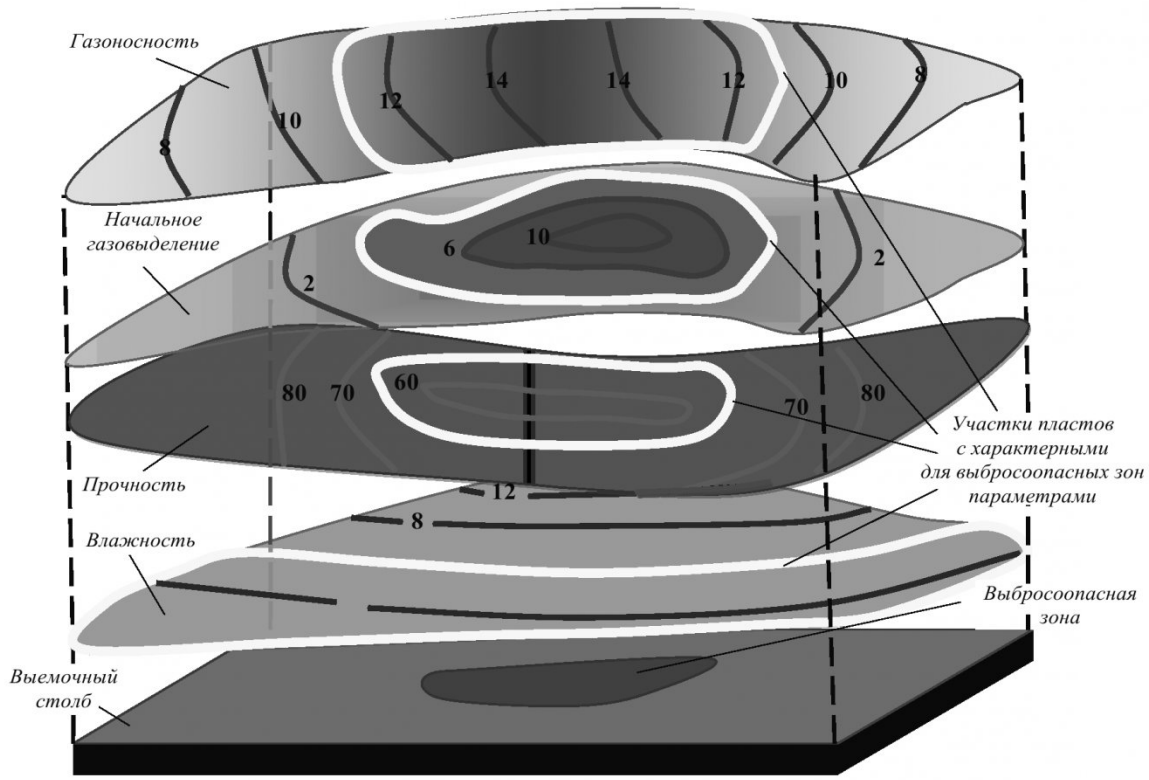

Рис. 1. Геоинформационные поля выемочного столба

опасную по комплексу выбранных показателей зону.

Рассматриваемая задача является основным элементом предлагаемой единой технологии регионального и текущего прогноза изменения геодинамического состояния массива горных пород в окрестности очистного забоя, т.е. оценки возможности проявления при отработке угольного пласта динамических явлений. Это достигается уточнением при текущем прогнозе в процессе проведения оконтуривающих выемочный столб подготовительных выработок показателей, применяемых для регионального прогноза, и дополнением их недостающими оперативными показателями геодинамической ситуации для конкретного текущего положения створа забоя.

Региональный прогноз представляет собой выявление опасных по ГДЯ зон в пределах планируемых к отработке участков пластов или, по принятой при проведении исследований терминологии, «геодинамическое зонирование участков пластов» (ГЗУП), а текущий прогноз – оценку реальной опасности в выявленных зонах в процессе их пересечения створом очистного забоя.

Данный подход позволяет прогнозировать наличие и вид опасности зон в пределах будущего выемочного столба по различным видам ГДЯ, повысить надежность прогноза выбросопасных зон за счет уточнения и введения новых показателей опасности по газодинамическим явлениям в процессе текущего прогноза и получить экономический эффект в результате сокращения объема применения мероприятий по предотвращению ГДЯ за счет повышения точности выявления выбросоопасных зон.

В соответствии с вышеизложенным принципиально разработана многоуровневая ГИС-модель для геодинамического зонирования участка угольного пласта.

Структурная схема модели приведена на рис. 2.

Разработанная ГИС-модель ориентирована на переменные и постоянные (в основном, условно постоянные) в пределах исследуемого участка параметры. В качестве примера переменных параметров можно привести начальную скорость газовыделения, коэффициент концентрации напряжений в массиве, прочность пласта и составляющих его пачек угля, выход бурового штыба, влажность угля. Кроме того, к переменным могут относиться показатели, представлящие собой функцию от других переменных показателей: показатель газовой активности призабойной части пласта, показатель динамической устойчивости призабойного массива, коэффициент контрастности максимума приведенного начального газовыделения.

К постоянным показателям можно отнести выход летучих, зольность угля, газоносность пласта, анизотропия свойств которых, во-первых, в значительно большей степени растянута в пространстве, а, во-вторых, они определяются практически только при отборе кернов из

разведочных скважин с поверхности, которое осуществляется с очень редкой сеткой. Перечень показателей, характеризующих геодинамическую активность углепородного массива, определен при выполнении предыдущего этапа данной работы [12].

В настоящее время для оценки геодинамического состояния массива находят применение геофизические измерения. В перспективе они позволяют значительно повысить точность установления границ потенциально опасных по ГДЯШ зон, поскольку обеспечивают выявление аномальных зон в строении углепородного массива, в которых наиболее вероятно проявление потенциальной опасности.

Для выполнения геодинамического зонирования участков пластов разработана и зарегистрирована специальная программа [13], предназначенная для выполнения регионального прогноза зон, опасных по геодинамическим явлениям, на основе оценки геомеханического состояния анизотропного по своим физико-механическим свойствам массива горных пород, вмещающего горные выработки.

Для отражения распределения геодинамических характеристик на рассматриваемом участке предложен метод построения нерегулярных триангуляционных сетей, позволяющий получить карты с геоинформационными полями характеристик геодинамической опасности [14,15].

В настоящее время для визуализации и построения цифровых моделей получили распространение два основных метода: матричное построение выпуклых моделей и триангуляционный (на основе метода триангуляции Делоне).

Матричный метод представляет собой создание двумерной таблицы с вписанными в нее координатами точки и значениями аргумента (отметки), которые соответствуют аргументу в центре ячейки либо среднему значению аргумента по площади, соответствующей размеру матрицы на поверхности выпуклой модели.

Триангуляция на основе метода Делоне строится на нерегулярно распределенных точках, расположенных на выпуклой модели. Плоскости треугольников, построенных по этим точкам, аппроксимируют поверхность выпуклой модели.

Данные, получаемые в результате замеров, неоднородно распределены в пространстве, что является препятствием для использования матричного метода. Кроме того, основной недостаток матричного метода – большой объем хранимых данных, к тому же зачастую избыточный, и как следствие дополнительные затраты системных ресурсов на построение и расчет модели.

Таким образом, применение триангуляции на основе метода Делоне при построения геополей по результатам замеров на шахтном поле более рационально.

Триангуляция Делоне имеет следующие свойства, отличающие ее от других триангуляций подобного типа:

- максимизирует минимальный угол среди всех углов построенных треугольников, тем самым избегаются «тонкие» треугольники;
- взаимно однозначно соответствует диаграмме Вороного для того же набора точек;
- максимизирует сумму радиусов вписанных шаров;
- минимизирует дискретный функционал Дирихле;
- минимизирует максимальный радиус минимального объемлющего шара;
- триангуляция Делоне на плоскости обладает минимальной суммой радиусов окружностей, описанных около треугольников, среди всех возможных триангуляций.

С применением нерегулярных триангуляционных сетей выделяются на участке пласта

Рис. 2. Структурная схема работы многоуровневой ГИС-модели ГЗУП

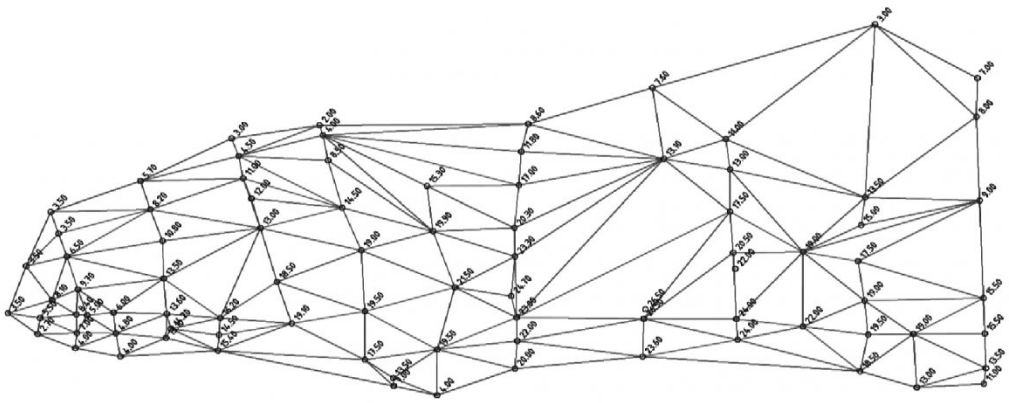

Рис. 3. Нерегулярная триангуляционная сеть, построенная по данным газоносности угля, м³/т

зоны, в пределах которых все рассматриваемые характеристики имеют значения, говорящие о потенциальной опасности этих зон.

Для отражения распределения геодинамических характеристик на рассматриваемом участке на основе метода построения нерегулярных триангуляционных сетей строятся карты с геоинформационными полями характеристик геодинамической опасности.

Проверка вышеизложенных положений проведена в ООО Шахта «Чертинская-Коксовая» ОАО «ПО Сибирь-Уголь» для участка горных работ пласта 3.

Структура пласта 3 относится к сложным, которые характерны для выбросоопасных зон. Критическая по внезапным выбросам угля и газа глубина для пласта 3 шахты «Чертинская-Коксовая составляет 300 м.

Одним из важнейших свойств угольных пластов, характеризующих его потенциальную выбросоопасность, является газоносность угля. В пределах рассматриваемого участка пласта 3 газоносность угля достигает 22 м³/т. Ее величина является достаточной для возникновения внезапного выброса угля и газа при ведении на данном участке очистных работ. Выполненными ранее исследованиями установлено, что реализация газодинамической опасности на угольных пластах Чертинского месторождения в виде внезапного выброса угля и газа возможна, начиная с критической природной газоносности, равной 16,5-18,5 м³/т с. б. м. Влажность угля пласта 3 находится в пределах от 2,6 % до 3,6 %, составляя в среднем 3,3 %, т. е. ее значения существенно ниже критической величины, составляющей 6 %, при превышении которой пласт считается невыбросоопасным.

Выход летучих для угля пласта 3 имеет величину от 37,4 до 39,3 % (в среднем – 38,8 %). Это близко к критическому его значению – 39 %, при превышении которого, согласно данным статистики, внезапных выбросов угля и газа не зарегистрировано, за исключением случаев воздействия на пласт контактного метаморфизма, которое в данном случае не имело места. Это говорит о том, что внезапные выбросы на пласте 3 могут происходить, но он в большей степени склонен к реализации газодинамической опасности в виде других газодинамических явлений: внезапных отжимов угля с повышенным газовыделением, внезапных прорывов газа из зон геологических нарушений, суфляров и т. п.

По марке угля «Ж» пласт 3 относится к тем угольным пластам, на которых наиболее часто происходят указанные выше явления. Зольность пласта составляет 18,9 % и находится в диапазоне тех значений, при которых возможно проявление выбросоопасности.

Для проявления выбросоопасности необходимо определенное проявление хрупких свойств материала. Некоторой хрупкостью для реализации процессов разрушения прилежащего к забою слоя угольного массива и возникновения и развития волны газового дробления угля должна обладать именно потенциально выбросоопасная угольная пачка.

Исходя из вышеизложенного, можно заключить, что пласт 3 представляет потенциальную опасность по внезапным выбросам при входе забоя выработки в зону тектонически нарушенного угля, но наиболее вероятно при ведении горных работ на нем проявление других видов газодинамических явлений.

Такой вывод подтверждается и практикой ведения горных работ на пласте 3 шахты «Чертинская-Коксовая». При проведении горных выработок по нему зарегистрированы внезапные выдавливания угля с повышенным газовыделением при проведении флангового уклона 345 (23.10.1986 г.) и монтажной камеры 354 (19.09.1988 г) и суфлярное выделение метана в забое вентиляционного штрека 351 выемочного столба лавы 351 (18.03. 2004).

Необходимо отметить, что внезапные выдавливания угля с повышенным газовыделением являются, с точки зрения современных исследователей, внезапными выбросами угля и газа, остановившимися на начальной стадии процесса газодинамического

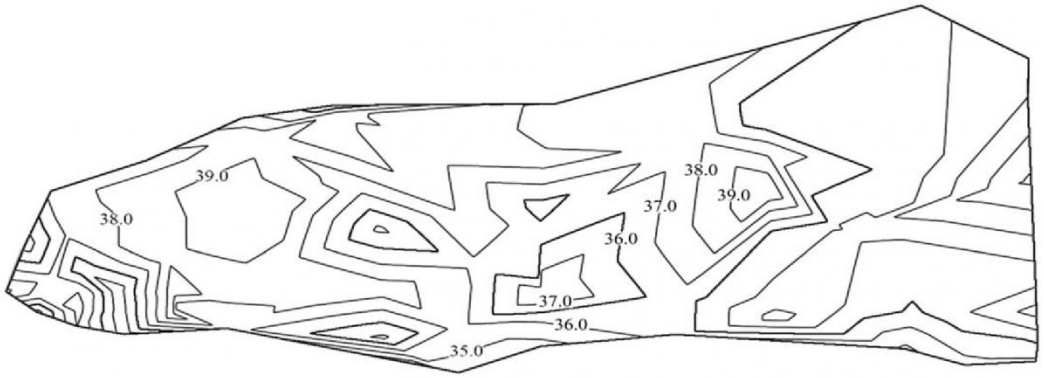

Рис. 4. Геополе выхода летучих веществ, %

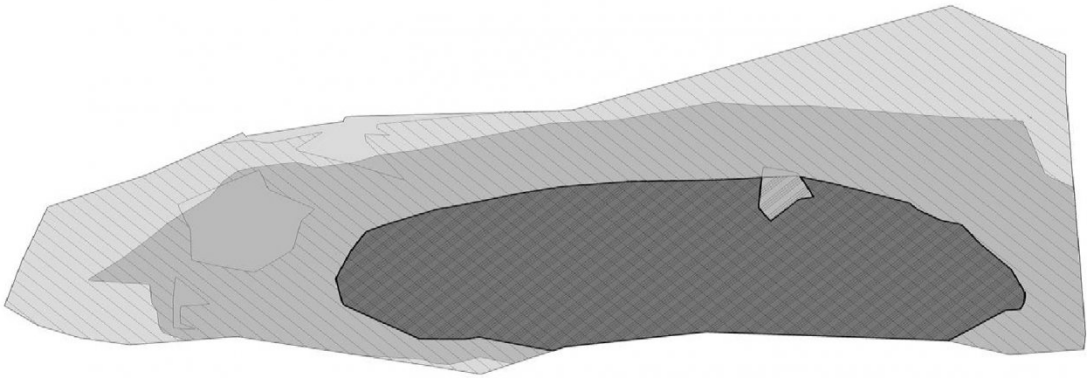

Рис. 5. Совмещенная карта потенциально выбросоопасных областей каждого из геополей характеристик выбросоопасности с выделением потенциально выбросоопасной зоны по комплексу выбранных характеристик:

– по выходу летучих веществ, –по газоносности, – по глубине залегания пласта, – по влажности, - выбросоопасная зона

разрушения. Проявление же суфляроопасности свидетельствует о наличии пустот в массиве вследствие тектонической нарушенности пласта 3, наличие которой является одним из определяющих условий проявления опасности по газодинамическим явлениям.

Для выявления на участке пласта 3 зон, опасных по внезапным выбросам угля и газа, методом ГЗУП по данным замеров на участке пяти характеристик выбросоопасности (газоносности угля, выхода летучих, влажности, зольности, глубины залегания) построены нерегулярные триангуляционные сети.

Пример сети, построенной по показателю газоносность угля, показан на рис. 3.

Пример преобразования триангуляционной сети в карты распределения характеристик по выходу летучих на данном участке показан на рис. 4.

По каждой геодинамической характеристике выполнено разделение рассматриваемого участка на потенциально опасные и неопасные по внезапным выбросам угля и газа области.

При решении поставленной задачи впервые предложен принцип определения опасной по какому-либо виду газодинамических явлений зоны на плане участка горных работ как общей части проекций на план областей потенциальной опасности (ОПО) по каждой используемой характеристике. Путем наложения потенциально опасных областей по каждой из выбранных геодинамических характеристик на участке пласта выделена потенциально выбросоопасная зона (рис. 5).

Потенциально выбросоопасная по комплексу выбранных характеристик зона нанесена на план горных работ участка пласта 3 участка шахтного поля ООО Шахта «Чертинская-Коксовая» (рис. 6).

Апробация метода ГЗУП по практическим данным измерения характеристик угольного пласта доказала возможность его практического применения для регионального прогноза потенциально выбросоопасных зон.

Изложенное выше решение задачи позволило создать многоуровневую ГИС-модель, отражающую геодинамическое состояние угольного массива на планируемом к отработке участке угольного пласта и позволяющую зонировать его по видам и степени геодинамической опасности.

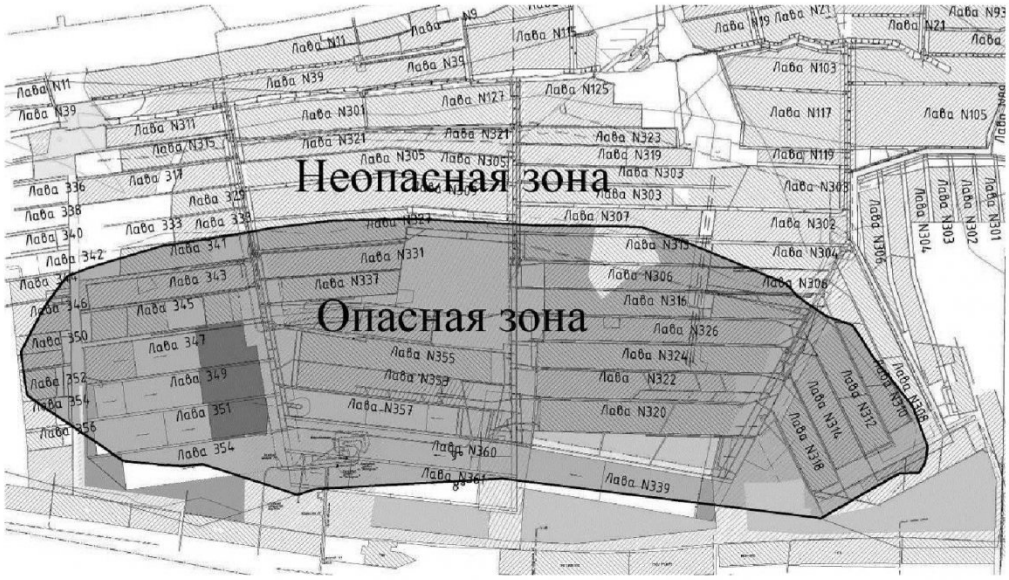

Рис. 6. Опасная по внезапным выбросам угля и газа зона (выделенный контур) на плане горных работ участка пласта 3, построенная методом ГЗУП

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ходот В. В. Внезапные выбросы угля и газа. – М.: Госгортехиздат, 1961. – 363 с..

2. Петухов И. М., Батугина И. М. Геодинамика недр. – М.: Недра Коммюникейшенс ЛТД, 1999. – 256 с

3. Малышев Ю. Н., Сагалович О. И., Лисуренко А. В. Техногенная геодинамика. Книга 1: Аналитический обзор. Актуальные проблемы. – М.: Недра, 1995. – 430 с.

4. О методологии классификации газодинамических явлений / С.П. Минеев, А.М. Брюханов, А.А. Рубинский и др. - Науковий вісник НГА України. -Днепропетровск.- Вип.10 - 2003.- С. 14 - 21.

5. Большинский М. И., Лысиков Б. А., Каплюхин А. А. Газодинамические явления в шахтах.- Севастополь: Вебер,2003. – 284 с.

6. Зыков В.С., Абрамов И.Л. Виды динамических явлений в шахтах и их классификация / Уголь и Майнинг 2014. Международная научно-практическая конференция: Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов. Сборник научных статей. Новокузнецк: СибГИУ. – 2014.

7. Петухов И. М. Геодинамические явления: Российская угольная энциклопедия. Т. 1. – М.-СПб: ВСЕГЕИ, 2004. С. 353-358.

8. Правила ведення гірничих робіт на пластах, схильних до газодинамічних явищ: Стандарт Мінвуглепрому України: СОУ 10.1.00174088. 011- 2005: Видання офіційне.- Київ: Мінвуглепром України, 2005.- 221 с.

9. Haruey C., Singch R.N. Outburst management – a recent case history from Australia/ Мат-лы 19-го Всемирного горного конгресса. – Нью-Дели, Индия, 2003.

10. R. D. Lama. Safe gas content theshold value for safety against outbursts in the mining of the Bulli seam. International symposium – cum-workshop. – Australia. – 1995. – P. 175-191.

11. Зыков В.С., Непомнищев И. Л. Геодинамическое зонирование участков угольных пластов // Маркшейдерский вестник, 2013. - № 4, с. 42-45.

12. 6. Зыков В.С., Абрамов И. Л., Непомнищев И.Л. Выбор и обоснование основных показателей опасности углепородного массива в окрестности очистного забоя по динамическим явлениям // Вестник КузГТУ, 2012. - № 4, с. 37-39.

13. Свидетельство № 2014611010 Российская Федерация. Программа геодинамического зонирования участков угольных пластов с применением нерегулярных триангуляционных сетей : свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ / Зыков В.С., Непомнищев И.Л., Абрамов И.Л.; заявитель и правообладатель ФГБУН ИУ СО РАН. -№ 2013660846 ; заявл. 26.11.13 ; зарегистр. в Реестре программ для ЭВМ 22.01.14. – [1] с

14. Скворцов А. В. Триангуляция Делоне и её применение. – Томск: Издательство Томского университета, 2002. – 128 с.

15. Непомнищев И. Л. Вопросы построения триангуляции при геодинамическом зонировании участков угольных пластов // Горный информационно-аналитический бюллетень (ГИАБ).− 2013. – Отдельный выпуск 6. – С. 363-367.

Поступило в редакцию 14.10.2015

UDC 622.831.322

ZONING OF RESERVOIR SITES IN THE COAL MINES OF THE IDAM AND DEGREE OF GEODYNAMIC DANGER

Zykov Victor S.,
D.Sc. (Engineering), Professor, Chief Researcher e-mail: vnimizvs@mail.ru
Nepomnišev, Ivan L,
research associate e-mail: yot@yandex.ru
Abramov Igor L.,
C.Sc. (Engineering), Associate Professor, Senior researche e-mail: abramov@icc.kemsc.ru

[1]Branch of VNIMI, 63A av. Soviet Kemerovo, 650000 , Russian Federation.
[2] Institute of Coal of the Siberian Branch of the RAS, 10 av..Leningradsky Kemerovo, 650065, Russian Federation.

Abstract.

The relevance of the work*. The solution to the problem of preventing geodynamic phenomena on the powerful and high gas seams Kuznetsk Coal Basin, with an increase in load on septic slaughter.*

Aim*: to improve the technology of the forecast risk on geodynamic phenomena in mining faces of coal mines based on application of multi-level GIS models of dynamic state of array.*

Research methods*: to build irregular triangulation networks used a Delaunay method maps with GIS geodynamic features fields of danger.*

Results: *the method of geodynamic zoning approbation of coal seams on practical data for regional forecast zones, potentially dangerous due to vibration.*

Keywords: *coal mine, geodynamic phenomena, shearer culling. geofield, Delaunay method, geodynamic zoning*

REFERENCES

1. Hodot V. V. Vnezapnye vybrosy uglja i gaza. – M.: Gosgortehizdat, 1961. – 363 s..
2. Petuhov I. M., Batugina I. M. Geodinamika nedr. – M.: Nedra Kommjunikejshens LTD, 1999. – 256 s
3. Malyshev Ju. N., Sagalovich O. I., Lisurenko A. V. Tehnogennaja geodinamika. Kniga 1: Analiticheskij obzor. Aktual'nye problemy. – M.: Nedra, 1995. – 430 s.
4. O metodologii klassifikacii gazodinamicheskih javlenij / S.P. Mineev, A.M. Brjuhanov, A.A. Rubinskij i dr. - Naukovij visnik NGA Ukraini. -Dnepropetrovsk.- Vip.10 - 2003.- S. 14 - 21.
5. Bol'shinskij M. I., Lysikov B. A., Kapljuhin A. A. Gazodinamicheskie javlenija v shahtah.- Sevastopol': Veber,2003. – 284 s.
6. Zykov V.S., Abramov I.L. Vidy dinamicheskih javlenij v shahtah i ih klassifikacija / Ugol' i Majning 2014. Mezhdunarodnaja nauchno-prakticheskaja konferencija: Naukoemkie tehnologii razrabotki i ispol'zovanija mineral'nyh resursov. Sbornik nauchnyh statej. Novokuzneck: SibGIU. – 2014.
7. Petuhov I. M. Geodinamicheskie javlenija: Rossijskaja ugol'naja jenciklopedija. T. 1. – M.-SPb: VSEGEI, 2004. S. 353-358.
8. Pravila vedennja girnichih robit na plastah, shil'nih do gazodinamichnih javishh: Standart Minvuglepromu Ukraïni: SOU 10.1.00174088. 011- 2005: Vidannja oficijne.- Kiïv: Minvugleprom Ukraïni, 2005.- 221 s.
9. Haruey C., Singch R.N. Outburst management – a recent case history from Australia/ Mat-ly 19-go Vsemirnogo gornogo kongressa. – N'ju-Deli, Indija, 2003.
10. R. D. Lama. Safe gas content theshold value for safety against outbursts in the mining of the Bulli seam. International symposium – cum-workshop. – Australia. – 1995. – P. 175-191.
11. Zykov V.S., Nepomnishhev I. L. Geodinamicheskoe zonirovanie uchastkov ugol'nyh plastov // Markshejderskij vestnik, 2013. - № 4, s. 42-45.
12. 6. Zykov V.S., Abramov I. L., Nepomnishhev I.L. Vybor i obosnovanie osnovnyh pokazatelej opasnosti ugleporodnogo massiva v okrestnosti ochistnogo zaboja po dinamicheskim javlenijam // Vestnik KuzGTU, 2012. - № 4, s. 37-39.
13. Svidetel'stvo № 2014611010 Rossijskaja Federacija. Programma geodinamicheskogo zonirovanija uchastkov ugol'nyh plastov s primeneniem nereguljarnyh trianguljacionnyh setej : svidetel'stvo ob oficial'noj registracii programmy dlja JeVM / Zykov V.S., Nepomnishhev I.L., Abramov I.L.; zajavitel' i pravoobladatel' FGBUN IU SO RAN. -№ 2013660846 ; zajavl. 26.11.13 ; zaregistr. v Reestre programm dlja JeVM 22.01.14. – [1] s
14. Skvorcov A. V. Trianguljacija Delone i ejo primenenie. – Tomsk: Izdatel'stvo Tomskogo universiteta, 2002. – 128 c.
15. Nepomnishhev I. L. Voprosy postroenija trianguljacii pri geodinamicheskom zonirovanii uchastkov ugol'nyh plastov // Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten' (GIAB).– 2013. – Otdel'nyj vypusk 6. – S. 363-367.

Received 14 October 2015