

DOI: 10.25558/VOSTNII.2023.92.41.002

УДК 622.235.026:004

© Ю.М. Игнатов, Г.Н. Роут, И.Л. Харитонов, М. Ю.Игнатов, 2023

Ю.М. ИГНАТОВ

канд. техн. наук, доцент
КузГТУ, г. Кемерово
e-mail: mnoc@mail.ru



Г.Н. РОУТ

канд. техн. наук, доцент
КузГТУ, г. Кемерово
e-mail: routgn@kuzstu



И.Л. ХАРИТОНОВ

начальник технического управления
АО «СУЭК-Кузбасс», г. Ленинск-Кузнецкий
e-mail: kharitonovil@rambler.ru



М.Ю. ИГНАТОВ

начальник ПТО ООО «ЭкоСтрой ЛК»
e-mail: ignatov1980@mail.ru



ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ СИЛОВЫХ ПОЛЕЙ НА ГОРНЫЙ МАССИВ И СОСТОЯНИЕ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

В статье приведена оценка сейсмического воздействия массовых взрывов на разрезе «Заречный» на горный массив и состояние горных выработок шахты «Талдинская – Западная-2». Исследовались изменения в состоянии крепления горных выработок, изменения геомеханических свойств пород, вмещающих угольный пласт 70, для совершенствования методологии воспроизведения влияния силовых полей на горный массив в форме машинного эксперимента в геoinформационной модели.

Описан алгоритм измерений на реперной станции и порядок сбора информации в виде визуальных наблюдений за креплением: путевого, конвейерного и вентиляционного наклонных стволов по пласту 70.

Результаты моделирования сохранялись как в самой модели, так и идентифицированы в реальные объекты геотехнологических схем на цифровых планах в виде аварийных участков крепления наклонных стволов и аномальной зоны повышенной трещиноватости.

Причинами увеличения интенсивности деформации на данных аварийных участках обследованных выработок являются воздействия массовых взрывов на аномальную зону повышенной трещиноватости, параметры которой были получены с использованием машинного эксперимента в геоинформационной модели.

Ключевые слова: ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИНФОРМАЦИЯ, ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЦИФРОВЫЕ МОДЕЛИ, СЕЙСМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ.

ВВЕДЕНИЕ

Предметом исследования горных наук является оценка влияния воздействия нагрузок от разных факторов, которые могут привести к разрушению подземных сооружений в горном массиве. В практике горного дела используются в основном эмпирические и полумпирические методы расчета. Численные значения коэффициентов в расчетных формулах определяются по данным натурных наблюдений [1], и таких расчетов бывает достаточно, если осредненные характеристики пород являются достоверными на значительные расстояния.

Но массив горных пород является физически неоднородной, анизотропной средой. Физико-механические свойства горных пород меняются по площади, поэтому геомеханические процессы деформирования носят переменный в пространстве и во времени характер. Например, по данным лабораторных исследований 116 измерений для песчаника кровли, рассматриваемого пласта 70, сопротивление сжатию (в естественном состоянии) меняется от 308 кг/см² до 1291 кг/см², в расчетах принимается равным 626 кг/см², но это создает большую погрешность в последующих вычислениях. Поэтому актуально разрабатывать алгоритмы решения задач горного дела путем ввода пространственно распределенных характеристик в базы данных геоинформационных систем (ГИС): ArcView, MapInfo, ArcInfo, AtlasGIS, WinGis, Geograph и др. Кроме программ данного уровня на мировом рынке для решения аналогичных задач горных предприятий имеются горно-геологические информационные системы (ГГИС): Surpac, Mapper, Mintec, Datamine, MineFrame, MicroMine, Kmine и др.

Современные ГИС и ГГИС позволяют отображать результаты разведочных и исследовательских работ на цифровых тектонических, геологических и геолого-промышленных картах и часть таких результатов измерений сводить в цифровой маркшейдерский план горных выработок. Такие технологии предоставляют возможность интегрировать в единую информационную среду алгоритмы решения многих прикладных задач. Объем пространственной информации разного содержания и назначения растет в геометрической прогрессии, заполняет цифровые планы горнодобывающих предприятий, необходим методологический подход к упорядочиванию информации. Лучшей формой для системной организации всей информации и последующего решения горных задач является геоинформационная модель.

Цель исследований — разработка методов оценки и прогноза состояния горного массива под влиянием разных силовых полей с использованием геоинформационной модели пластового месторождения.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПО ОЦЕНКЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ НА ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Рост техногенной сейсмичности в Кузбассе начался в 70-е годы прошлого столетия, когда их количество стало превышать число природных землетрясений. Недра Кузбасса изначально характеризовались собственной природной сейсмичностью и развитой системой тектонических разломов. В результате сочетания природной сейсмостектонической активности, постоянно возрастающих объемов

горных работ и потребления взрывчатых веществ в Кузбассе наблюдается увеличение потоков техногенных сейсмических событий и рост их интенсивности. Например, Бачатское землетрясение 18 июня 2013 г. с интенсивностью сейсмических колебаний 7 баллов в эпицентральной зоне стало крупнейшим в мире техногенным землетрясением при добыче твердых полезных ископаемых [2].

Появились сильные тектонические землетрясения техногенного происхождения, которые сопровождаются зачастую разрушениями подземных выработок. Основные опасности массива горных пород проявляются, когда деформированные участки пласта из-за геодинамических процессов накладываются на особенности распределения напряженно-деформированного состояния массива при геотехнологических процессах [3, 4].

Анализ зарубежных источников по изучению последствий влияния сейсмических событий на сохранность подземных сооружений позволяет выделить следующие положения.

1. Действия сейсмического события на подземные сооружения делятся на две категории: сотрясение массива; нарушение массива (Даудинг и Розен, 1978 г.; Сент-Джон и Зара, 1987 г.)

2. Инерция окружающего массива велика по сравнению с инерцией сооружения. Измерения сейсмического отклика туннеля, сделанные Okamoto et al, 1973 г., показывают, что отклик туннеля определяется реакцией окружающего массива.

3. Три типа деформаций выражают реакцию подземных сооружений на сейсмические движения: осевое сжатие и растяжение, продольный изгиб, отслоения пород кровли и боков выработки (Owen and Scholl, 1981 г.)

Осевые деформации в туннелях генерируются составляющими сейсмических волн, которые вызывают движения, параллельные оси туннеля и вызывающие чередование сжатия и растяжения.

Изгибные деформации вызываются составляющими сейсмических волн, вызывающими движения частиц перпендикулярно продольной оси. Расчетные соображения от-

носительно осевых деформаций и деформаций изгиба, как правило, относятся к направлению вдоль оси туннеля (Ван, 1993 г.)

Отслоения пород кровли и боков выработки в конструкции туннеля развиваются, когда поперечные волны распространяются перпендикулярно или почти перпендикулярно оси туннеля, что приводит к искажению формы поперечного сечения обделки туннеля.

В общем, большие амплитуды смещения связаны с более длинными волнами, в то время как максимальные кривизны создаются более короткими длинами волн с относительно малыми амплитудами смещения (Kuesel, 1969 г.)

Таким образом, для оценки влияния сейсмического движения на подземные сооружения необходимо знание трех составляющих:

- величина силы сейсмического события;
- реакция горного массива на сотрясение;
- поведение конструкции в результате сейсмического сотрясения.

Если величину силы сейсмического события фиксируют многочисленными станциями, то реакцию горного массива на сотрясение необходимо исследовать. Сейсмическое воздействие взрывов на горный массив выражается в изменении геомеханических свойств пород. Из литературных источников [5] известно, что характер разрушений трещиноватых пород в кровле горной выработки зависит от ряда факторов: механических характеристик пород, ориентировки систем трещин относительно оси выработки, числа систем трещин, глубины работ и др.

Поведение конструкции в результате сейсмического воздействия определяется увеличением нагрузок на крепь выработок. При любых породах, вмещающих выработку, опасные сейсмические колебания вызывают рост свода естественного равновесия, отжим угля из боков выработок. Нагрузка на крепь определяется формой поперечного сечения выработки и оценивается действием статических и динамических составляющих горного давления.

Таким образом, оценка реакции подземной конструкции на сейсмическое воздейст-

вие требует знания ожидаемых сотрясений горного массива, а также понимания механизма реакции массива и конструкции на такие сотрясения. Поэтому необходимо исследовать вопросы сейсмического влияния на деформацию массива и на конструкцию подземного сооружения.

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СОСТОЯНИЕ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Прогнозная оценка влияния сейсмических колебаний от взрывов на путевой, конвейерный и вентиляционный стволы шахты «Талдинская – Западная-2», производилась путем сравнения расчетных напряжений и деформаций с допустимыми напряжениями для устойчивости подземных выработок. По расчетам получилось, что аварийного разрушения горных выработок не ожидается и результаты приведены в нашей статье [6].

Для фактической оценки состояния выработок и приконтурного массива производились визуальные и инструментальные наблюдения. Проведено визуальное обследование выработок, пройденных под углом 2–7°, общей протяженностью 6800 м:

- путевой ствол пласта 70, пройден на длину 2526 м;
- конвейерный ствол пласта 70, пройден на длину 2600 м;
- вентиляционный ствол пласта 70, пройден на длину 2210 м.

Инструментальные измерения смещений и конвергенций углепородного массива велись на замерной станции, где контролировалась активная зона ведения взрывных работ по пласту 73, разрезом «Заречный». В задачи наблюдений были включены следующие вопросы:

- установление зависимости смещения и скорости смещения приконтурных пород в стволах от влияния взрывов;
- установление наличия процесса накопления остаточных деформаций в углепородном массиве пласта 70 вблизи наклонных стволов от производимых взрывов.

На наблюдательной станции см. рис. 1. установлены глубинные реперы: 1-ый репер на глубине 4 м от контура ствола; 2-ой репер на глубине 3 м; 3-ий репер на глубине 2 м; 4-ый репер на глубине 1 м от контура. В почве установлен мерный репер с заглублением в почву на 1 м.

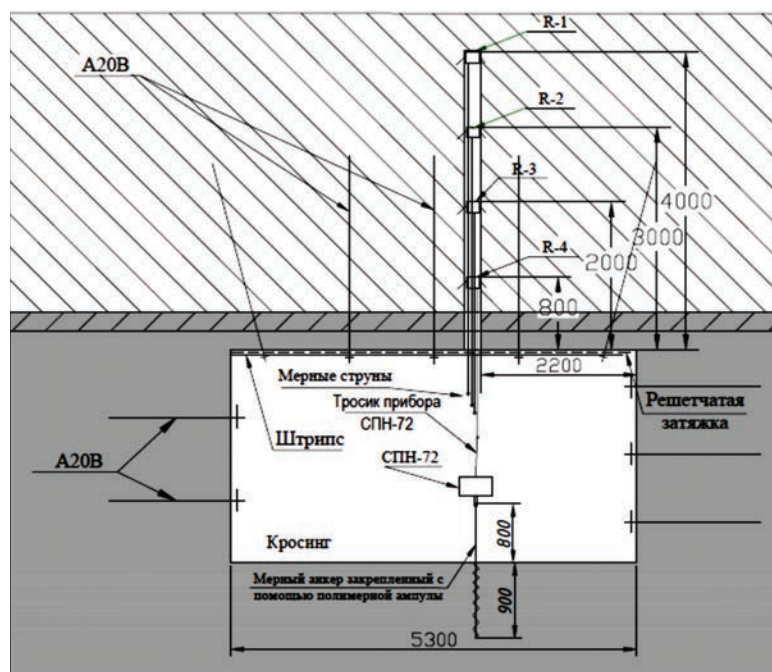


Рис. 1. Схема установки реперов

Наблюдательная станция была установлена в кроссинге между путевым наклонным стволом и вентиляционным наклонным

стволом в створе с вентиляционным штреком 70-08. На рис. 2 приведены результаты наблюдений за смещением реперов.

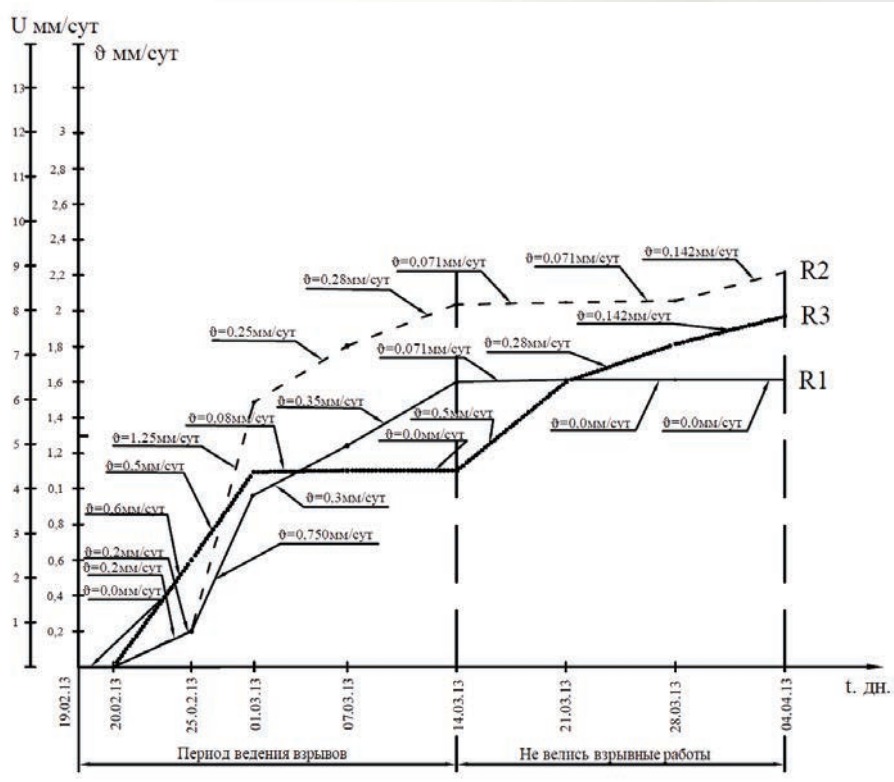


Рис. 2. Совмещенный график смещений и скорости смещения реперов

Из представленных графиков видно, что смещение происходит скачками. Скачкообразный характер смещения связан с производством взрывных работ, в большинстве случаев скачки происходят после взрывов с некоторой задержкой во времени.

Результаты наблюдений показывают, что смещение и скорость смещения пород кровли в контуре ствола при повторяемости взрывов возрастают, при этом смещение пород существенно зависит от массы заряда в скважине. Установлено, что при производстве трех взрывов породы в приконтурных слоях сохраняют устойчивое состояние, при производстве 5 взрывов появляются деформации пород, возможны вывалы пород и образование куполов. Повторяемость взрывов приводит к накоплению в массиве вблизи наклонных слоев остаточных деформаций, и при продолжении взрывов вблизи стволов устойчивость выработок будет нарушаться.

Визуальные наблюдения проведены по выработкам общей протяженностью 6800 метров. В результате визуальных наблюдений определены зоны как удовлетворительного состояния крепи, так и аварийных участков, требующих принятия экстренных мер по ремонту крепи горных выработок.

Для понимания причин появления аварийных участков произведено детальное рассмотрение геологических условий горного массива в районе выработок и для этого вся информация объединена в геоинформационной модели месторождения.

ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПЛАСТОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Для построения геоинформационной модели месторождения (ГММ) по пласту 70 произведено конвертирование векторного маркшейдерского плана горных выработок в ГИС-технологии и созданы реляционные таб-

лицы атрибутивных данных из геологического отчета по Северно-Талдинскому месторождению, материалов геолого-маркшейдерской службы шахты «Талдинская – Западная-2» и сведений из отчета [7].

Информационное обеспечение в ГММ организовано в виде множества слоев (покрытий или карт подложек). Слои в модели построены на основе объединения (типизации) пространственных объектов, имеющих общие функциональные признаки. Совокупность слоев образует основу графической части ГММ.

Реляционные таблицы геоданных (геологических, геометрических и геомеханических характеристик) составили базу данных (БД), которая определяется как структурированный набор информационных файлов, хранящихся в одном каталоге и содержащих информацию о метрических и семантических свойствах, характеристиках и параметрах объектов ГММ.

Структура БД представляет собой набор связанных таблиц. Все характеристики объекта хранятся в полях реляционной таблицы. Некоторые поля хранят ссылки на справочные таблицы, в которых приведены списки допустимых значений кодов и характеристик. Схемы генерации координатно-привязанных данных по дискретным точкам скважин в непрерывные поля геологических характеристик реализованы в Майнфрэйм при создании блочной модели. Процесс создания сетки из ячеек заключается в том, что значения показателя из точки замера с помощью интерполирования передаются в узлы квадратной сетки и хранятся в виде матриц, образуя модели типа GRID. Для пространственной интерполяции данных опробования GeoTech-3D содержит программные средства, реализующие как простые алгоритмы типа обратных квадратичных расстояний, так и сложные, основанные на геостатистических методах исследования закономерностей изменчивости и применения процедуры кригинга. Методика таких работ изложена в наших статьях [8, 9].

На основании геологических данных непосредственная кровля обрабатываемого пла-

ста 70 представлена алевролитом мелкозернистым, трещиноватым, с классификацией по [10] от слабоустойчивой до неустойчивой. Мощность ее составляет от 3,5 до 4,0 м, коэффициент крепости (f) от 1,0 до 4,9.

В кровле, на контакте с угольным пластом, залегает пачка углистого аргиллита слабого, весьма склонного к отслоению — ложная кровля, мощностью от 0,1 до 0,5 м, $f = 1,2$. Основная кровля пласта представлена переслаивающимися взаимопереходящими породами (песчаник, алевролит) мощностью от 22 до 33 м, f от 2,1 до 5,3, с классификацией по [10] как кровля средней устойчивости.

После создания БД сведения о горном массиве обрабатываются с помощью известных в горном деле количественных методов оценки геологических условий для получения интегрированной основы для решения инженерных задач. Для этого применяются разные типы вычислений: классификация по диапазонам, интерполяция по решетке, расположение векторов силовых полей, ориентировка систем трещиноватости, градиенты прочностных показателей пород, изменение мощности пластов вдоль заданных направлений и др.

После построения цифровой интегрированной основы дальнейшая работа заключается в реализации стандартных операций со слоями: сложение, объединение, анализ различий, обработка данных с помощью модельных и расчетных функций и др.

При работе в ГММ решались следующие научно-технические проблемы:

- постановка машинных экспериментов;
- выделение закономерностей и идентификации реальных объектов;
- проверка правильности полученных в ходе моделирования результатов.

Постановка машинных экспериментов осуществляется созданием разных вариантов модели и построением результатов моделирования на планах. При этом выдвигаются гипотезы о взаимоотношениях силовых полей, геологических условий с объектами геотехнологических схем.

Передача модельной информации в та-

блицу атрибутивных данных создаваемого слоя осуществляется при анализе взаиморасположения модельной области и объектов ГИС слоя-приемника. ГММ создает возможность получить в ходе исследования новые знания и перенести результаты на цифровые планы горных выработок.

Таким образом, геоинформационное моделирование создает новые цифровые модели, новые информационные ресурсы, новые знания и является основой дальнейших научных исследований в горном деле.

В ходе постановки машинного эксперимента построен по методике [9] прогнозный план деформированности горного массива по пласту 70 (рис. 3). В методе базовым типом объектов для изображения геополей является квадратная ячейка (регулярная ячейка).

Анализ результатов геоинформационного моделирования горного массива позволил выявить на плане зону повышенного напряженно-деформируемого состояния массива (см. рис. 3) в районе аномальной зоны (красные изолинии). Аномальная зона — это флексура, в которой поверхность пласта на 20 метров отклоняется от аналитической поверхности, и в этой зоне интенсивность трещиноватости кровли угольного пласта в два раза выше, чем на остальной площади пласта. Такая аномалия возникла с появлением дополнительной локальной трещиноватости, вызванной складчатыми тектоническими дислокациями. Количество систем трещин и их ориентировка обусловлены тектонофизическими законами проявления разрывных и складчатых деформаций в различных геологических условиях.

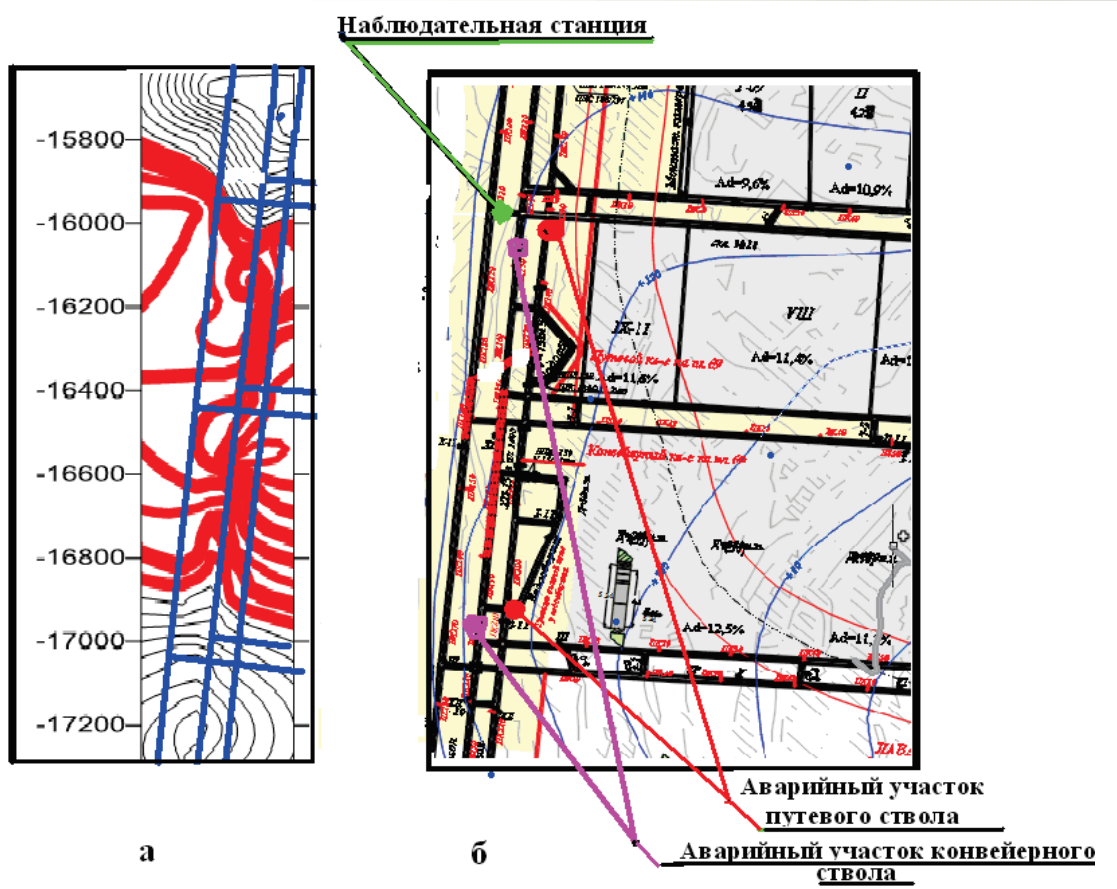


Рис. 3. Совмещенные планы горных выработок: а — результаты машинного эксперимента; б — копия цифрового плана горных выработок

На рис. 3(а) красным цветом изображены изолинии деформирования массива. Для путевого и конвейерного стволов изолинии

сгруппированы, а для вентиляционного ствола они расположены более редко. В результате визуальных наблюдений отмечены участки

с неудовлетворительным креплением, наличие критических деформаций контура и элементов крепи путевого ствола в районе ПК 136-200, конвейерного ствола в районе ПК 152-202, границы таких участков совпали с границами аномальной зоны.

Крепь вентиляционного ствола оказалась менее повреждена, но по всему участку наблюдений (456 м) действует повышенная нагрузка на крепь ствола и на элементы анкерной крепи. В формировании давления на крепь ствола в основном участвуют породы непосредственной кровли мощностью 4 м и частично нижние слои породы основной кровли, представленные переслаиванием алевролитов с песчаниками, которые отслаиваются по ослабленным контактам.

Высокое давление на крепь ствола подтверждается высокой деформацией подхватов анкерной крепи, деформацией контурных обнажений ствола (отжимами из боков, вывалами пород из кровли, обрушением пород и образованием куполов высотой до 6 м). Обнаружены прорывы опорных элементов с продавливанием шайб и срывом гаек с анкеров, смятие, изгибы и разрывы подхватов, что опасно при эксплуатации ствола. Установлено, что давление на крепь возрастает с увеличением взрывов, производимых по пласту 73. Результаты наблюдений показывают, что принятая длина анкеров 2,75 м является в данных условиях недостаточной для обеспечения надёжного поддержания вентиляционного ствола.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горные науки. Освоение и сохранение недр земли. М., 1997. 478 с.
2. Адушкин В.В Развитие техногенно-тектонической сейсмичности в Кузбассе // Геология и геофизика. 2018. Т. 59. № 5. С. 709–724.
3. Зыков В.С. Внезапные выбросы угля и газа и другие газодинамические явления в шахтах. Кемерово, 2010. 334 с.
4. Зыков В.С. Техногенная геодинамика. Учебное пособие. Кемерово, 2006. 226 с.
5. Борисов А.А. Механика горных пород и массивов. М.: Недра, 1980. 360 с.
6. Роут Г.Н., Игнатов Ю.М., Игнатов М.Ю Оценка влияния сейсмических воздействий на напряженно-деформируемое состояние горного массива для создания цифровой модели // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Материалы Международной научно-практической конференции «Сибресурс-2022». Кемерово, 2022. 6 с.
7. Оценка сейсмического воздействия массовых взрывов разреза «Заречный» ОАО «СУЭК-Кузбасс» на подземные горные выработки шахты «Талдинская – Западная-2» // Отчёт по научно-

ВЫВОДЫ

1. Результаты наблюдений в шахтных условиях за состоянием приконтурных слоев в кровле наклонных стволов показывают, что смещение и скорость смещения пород кровли в контуре ствола с ростом повторяемости взрывов возрастают, при этом смещение существенно зависит от массы заряда в скважине.

2. Применение геоинформационного моделирования как технологии математического и информационного манипулирования с информацией и создание на этой основе новых знаний позволило выявить аномальную зону повышенной трещиноватости.

3. Фактом неравномерного сейсмического влияния на деформацию массива и на конструкцию подземного сооружения является то, что обнаруженные участки наклонных стволов, находящиеся в аварийном состоянии, совпали с выявленной аномальной зоной повышенной трещиноватости.

4. Сложившаяся геодинамическая ситуация региона способствует нарастанию общего количества мелких сейсмических событий природно-техногенного характера и приводит не только к обрушению пород с кровли и стенок подземных выработок, но и к смещению блоков при действии горизонтальных напряжений во время сейсмических событий.

исследовательской работе. Кемерово. ИПЭБ, 2013. 74 с.

8. Игнатов М.Ю., Игнатов Ю.М. Методика принятия проектных решений на основе информативно-геомеханической модели строения участка // Безопасность жизнедеятельности предприятий в промышленно развитых регионах. Материалы Международной научно-практической конференции. Кемерово. 2007. С. 198–200.

9. Игнатов Ю.М., Гагарин А.А., Роут Г.Н., Игнатов М.Ю. Опыт использования цифровой графической документации для решения инженерных задач с использованием геоинформационных технологий // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2020. № 4. С. 56–67.

10. Инструкция по геологическим работам на угольных месторождениях Российской Федерации. СПб, 1993. 147 с.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2023.92.41.002

UDC 622.235.026:004

© Y.M. Ignatov, G. N. Routh, I.L. Kharitonov, M.Y. Ignatov, 2023

Yu.M. IGNATOV

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor
T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo
e-mail: mnoc@mail.ru

G.N. ROUT

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor
T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo
e-mail: routgn@kuzstu

I.L. KHARITONOV

Head of Technical Department
JSC «SUEK-Kuzbass», Leninsk-Kuznetsky
e-mail: kharitonovil@rambler.ru

M.Yu. IGNATOV

Head of the VET
LLC «EkoStroy LC», Kemerovo
e-mail: ignatov1980@mail.ru

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF SEISMIC FORCE FIELDS ON THE MOUNTAIN MASSIF AND THE CONDITION OF MINE WORKINGS.

The article presents an assessment of the seismic impact of mass explosions at the Zarechny section on the mountain massif and the state of the mine workings of the Taldinskaya-Zapadnaya-2 mine. Changes in the state of fastening of mine workings, changes in the geomechanical properties of rocks containing the coal seam 70 were studied to improve the methodology for reproducing the influence of force fields on the mountain massif in the form of a machine experiment in a geoinformation model.

The algorithm of measurements at the reference station and the procedure for collecting information in the form of visual observations of the fastening of: track, conveyor and ventilation inclined shafts along the reservoir 70 are described.

The simulation results were preserved both in the model itself and identified into real objects of geotechnological schemes on digital plans in the form of emergency sites of attachment of inclined trunks and an abnormal zone of increased fracturing.

The reasons for the increase in the intensity of deformation in these emergency areas of the surveyed workings are the effects of mass explosions on the anomalous zone of increased fracturing, the parameters of which were obtained using a machine experiment in a geoinformation model.

Keywords: SPATIAL INFORMATION, GEOINFORMATION MODELING, DIGITAL MODELS, SEISMIC IMPACT.

REFERENCE

1. Mining sciences. Development and preservation of the earth's interior. M., 1997. 478 p. [In Russ.].
2. Adushkin V. In the Development of technogenic-tectonic seismicity in Kuzbass // Geology and Geophysics [Geologiya i geofizika]. 2018. Vol. 59. No. 5. P. 709–724. [In Russ.].
3. Zykov V.S. Sudden emissions of coal and gas and other gas dynamic phenomena in mines. Kemerovo, 2010. 334 p. [In Russ.].
4. Zykov V.S. Technogenic geodynamics. Study guide. Kemerovo, 2006. 226 p. [In Russ.].
5. Borisov A.A. Mechanics of rocks and massifs. M.: Nedra, 1980. 360 p. [In Russ.].
6. Routh G.N., Ignatov Yu.M., Ignatov M.Yu. Assessment of the impact of seismic impacts on the stress-strain state of a mountain massif to create a digital model // Natural and intellectual resources of Siberia. Materials of the International scientific and practical Conference «Sibresurs-2022». Kemerovo, 2022. 6 p. [In Russ.].
7. Assessment of the seismic impact of mass explosions of the Zarechny section of JSC SUEK-Kuzbass on the underground mine workings of the Taldinskaya-Zapadnaya-2 mine // Report on research work. Kemerovo. IPEB. 2013. 74c. [In Russ.].
8. Ignatov M.Yu., Ignatov Yu.M. Methodology for making design decisions based on the information and geomechanical model of the site structure // Life safety of enterprises in industrially developed regions. Materials of the International Scientific and Practical Conference [Bezopasnost zhiznedeyatelnosti predpriyatij v promyshlenno razvityh regionah. Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii]. Kemerovo. 2007. P. 198–200. [In Russ.].
9. Ignatov Yu.M., Gagarin A.A., Routh G.N., Ignatov M. Yu. Experience of using digital graphic documentation for solving engineering problems using geoinformation technologies // Bulletin of the Scientific Center of VostNII on Industrial and Environmental safety [Vestnik Nauchnogo centra VostNII po promyshlennoj i ekologicheskoy bezopasnosti]. 2020. No. 4. P. 56–67. [In Russ.].
10. Instructions for geological work on coal deposits of the Russian Federation. Saint Petersburg, 1993. 147 p. [In Russ.].