

тор формирует зумпф, который будет эксплуатироваться в ходе подготовки горизонта к сдаче в эксплуатацию (рис. 2з).

Выводы и направления дальнейших исследований. Сравнительный анализ технических параметров оборудования и технологических схем проходки траншей показал, что при использовании в качестве основного выемочно-погрузочного оборудования прямых мехлопат, для эффективного ведения работ по углубке карьера предпочтительно применять гидравлические экскаваторы типа обратная лопата. Для обеспечения безопасных условий производства горных работ на глубоких горизонтах следует использовать комбинированную послойную схему проходки траншей.

Дальнейшие исследования будут направлены на разработку, технико-экономическое и практическое обоснование ресурсосберегающих технологических схем вскрытия и ввода в эксплуатацию глубоких горизонтов карьеров в сложных гидрогеологических и горнотехнических условиях.

Список литературы

1. Методическое обоснование выбора рациональной схемы водоотлива в условиях кимберлитовых карьеров. / Е.Л. Алькова, С.В. Панишев, С.А. Ермаков // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2010. - № 10.- С.192-198.
2. Арсентьев А.И. Устойчивость бортов и осушение карьеров / А. И. Арсентьев, И. Ю. Букин, В.А. Мироненко. - М.: Недра, 1982. – 165 с.
3. Руководство по дренированию карьерных полей / под ред. В.А.Мироненко. – Л.: ВНИМИ, 1968. – 171 с.
4. Организация горных работ при подготовке новых горизонтов на обводненных карьерах / И.И. Дуданов, Д.Н. Лигоцкий, Г.А. Холодняков, В.С. Авраамов // Записки Горного института. 2009. - Том 181.- С. 61-64.
5. Науман Э. Принять решение – но как? – М.:Мир, 1987. – 198 с.
6. Слободянюк В.К., Турчин Ю.Ю. Совершенствование технологии проходки траншей в сложных горно-геологических условиях глубоких горизонтов железорудных карьеров. / В.К. Слободянюк, Ю.Ю. Турчин // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наукових праць / Ін-т Геотехнічної механіки ім. М. С. Полякова НАН України. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 103. – С. 203 – 210.

Рукопись поступила в редакцию 20.12.12

УДК 622.271.012.3

Ю. Г. ВИЛКУЛ, Н. И. СТУПНИК` доктора техн. наук, проф.

ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

Е.К. БАБЕЦ канд., техн., наук, проф. А. А.СОВА канд., техн., наук, доц.

НИГРИ ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

СОЗДАНИЕ РЕГИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ МАССИВОВ ГОРНЫХ ПОРОД В ЗОНАХ ВЛИЯНИЯ ПУСТОТ

Изложены основные положения программы исследований направленной на создание специализированной геоинформационной системы (ГИС) непрерывного дистанционного мониторинга массивов горных пород в зонах влияния подземных пустот в Кривбассе. Внедрение этой системы позволит своевременно определять во времени и пространстве области запредельного напряженного состояния, информировать о возможном возникновении явлений, которые могут привести к аварийным ситуациям и повысить уровень безопасного ведения горных работ наряду с другими системами прогноза и контроля напряженного состояния в массивах горных пород.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Разработка железорудных месторождений Криворожского бассейна, которая ведется уже 130 лет, привела к возникновению серьезных проблем, связанных с достижением больших глубин при открытой и подземной разработках. Извлечение из недр огромного объема горной массы (около 9 млрд м³) привело к масштабным нарушениям естественного состояния земных недр.

В настоящее время преобладающий объем горных работ ведется либо в условиях совместной открытой и подземной разработки, либо в условиях открытой отработки в зонах, подработанных подземными горными работами. Процесс сдвижения подработанных шахтами толщ не завершен, а фронты работ в карьерах наступают на зоны возможного образования воронок, террас и трещин, мульды сдвижения продолжают развиваться.

С углублением горных работ подземная отработка оставшихся запасов осуществляется под толщами налегающих пород мощностью свыше 900 м. Значительные по объему подземные полости возникают в результате выемки на больших глубинах запасов «слепых» залежей. Всплытие пустот над выработанными пространствами длится десятилетиями, это чревато не только непрогнозируемым во времени выходом воронок и площадным развитием мульды сдвижения, но и угрозой воздушных ударов в шахтах.

Принудительное обрушение налегающих пород как способ управляемого погашения пустот сложно осуществить как по экономическим, так и техническим соображениям. Это во мно-

го раз дороже и опаснее чем очистная выемка. Кроме того, горнорудная практика не знает примеров погашения пустот миллионными объемами под километровыми толщами.

Анализ исследований и публикаций. Современный подход к решению сложной проблемы прогноза катастрофических геомеханических явлений заключается в последовательной реализации: качественного сбора геофизической информации, анализа данных, адаптации и самоорганизации геомеханических моделей контроля состояния массива, развития интегрированной экспертной системы диагностики и прогноза напряженно-деформированного состояния геомеханического пространства [1,2,5,7,13,14,15].

В практическом смысле реализация подобного подхода приводит к необходимости создания системы геомеханического мониторинга (СГМ).

Под СГМ подразумевается автоматизированная информационно-измерительная система непрерывного контроля, диагностики и прогноза напряженно-деформированного состояния геомеханического пространства, осуществляемая с целью повышения уровня безопасности при эксплуатации объектов, расположенных в зоне влияния горных работ. Внедрение таких систем дает реальную возможность получения достоверных сведений о состоянии геомеханической среды, эффективного управления этим состоянием, и, как следствие, повышение уровня безопасности при эксплуатации технологических объектов.

Системы непрерывного мониторинга в геомеханике стали применяться со второй половины двадцатого столетия для регистрации техногенных микросейсмических процессов в подработанных горными работами массиве с целью выявления предвестников горных ударов, массовых обрушений и выхода воронок на поверхность. Регистрацией во времени в объемных координатах микросейсм выделяются области разрушения породного массива. По динамике нарастания событий делается прогноз развития процесса.

Внедрение системы непрерывного дистанционного мониторинга геомеханического состояния массивов пород позволяет:

своевременно определять во времени и пространстве области запредельного напряженного состояния, информировать о возможном возникновении явлений, которые могут привести к аварийным ситуациям;

повысить уровень безопасного ведения горных работ совместно с другими системами прогноза и контроля напряженного состояния в массивах горных пород.

Впервые эти системы получили распространение на золотодобывающих рудниках Южно-Африканской Республики, затем во многих горнодобывающих регионах мира, в том числе и на территории Содружества Независимых Государств (СНГ) - Таштагол, Североуральский бокситовый рудник, Норильск, Апатиты, Жезказган.

Приведенные примеры, по сути, представляют собой системы регионального геомеханического мониторинга (СРГМ), которые можно определить как автоматизированные компьютерные информационно-измерительные и аналитические системы непрерывного контроля, диагностики и прогноза общего геомеханического и связанного с ним горно-экологического состояния подземного и поверхностного пространства экосистемы в регионе ведения крупномасштабных горных работ.

Постановка задачи. Целью организации СРГМ является повышение степени устойчивости (в широком смысле этого понятия) состояния экосистемы в регионе, что включает в себя повышение уровня безопасности при эксплуатации размещенных в зоне влияния горных работ общих инженерных и производственных объектов, предотвращение нарушений и разрушений строений, баланса в природной среде и т.д.

В качестве объектов слежения рассматриваются подземные и наземные сооружения производственного и непроизводственного назначения, шахты, карьеры, дамбы, коммуникации и пути сообщения, инженерные системы в целом, а так же естественные и искусственные природные объекты.

Применительно к Криворожскому бассейну важнейшими направления использования СРГМ являются:

своевременное обнаружение критических ситуаций, развитие которых может привести к катастрофическим последствиям ведения горных работ;

поиск и обоснование оптимальной стратегии управления геомеханическим состоянием в регионе ведения горных работ с учетом научно-технических, экономических, экологических и социальных факторов.

В число главных задач СРГМ Кривбасса входят задачи моделирования геомеханических процессов в породном массиве, приповерхностных и поверхностных областях, изучение и оценка свойств и состояния горных пород и массивов, создание системы геомеханических баз данных и баз знаний. Важной представляется задача аккумуляции и систематизации имеющегося интеллектуального опыта в области геомеханического обеспечения горных работ. Для этого наиболее приемлемым может стать создание экспертной системы.

Изложение материала и результаты. Созданию ГИС-Кривбасса предшествует разработка геомеханической пространственно-временной модели нарушенного горными работами массива вмещающих пород. Она в свою очередь базируется на комплексных исследованиях, которые включают: экспериментально-аналитические разработки, лабораторные исследования на эквивалентных материалах [1,2], распределение напряжений поляризационно-оптическим методом [3,4], сейсмическое просвечивание массива и ультразвуковой каротаж.

Необходимо отметить, что Научно-исследовательский горнорудный институт (НИГРИ) (г.Кривой Рог, Украина) обладает успешным опытом работ, современной аппаратурой и лабораториями, которые дают уверенность в успешном решении задач связанных с созданием СРГМ в Кривбассе. К числу таковых можно отнести опыт:

геофизического мониторинга методами микросейсмики, резонансно-акустического профилирования (РАП), естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ) и другими;

физического моделирования развития процессов сдвижения на поляризационно-оптических;

участия в создании систем дистанционного непрерывного мониторинга напряженного состояния массива нарушенного горными работами на рудниках Таштагол, Североуральском бокситовом руднике, Апатитах;

компьютерного математического моделирования систем «выработанное пространство – обрешенная порода - подработанная толща».

За последние несколько лет в НИГРИ успешно выполнены такие ответственные научно-исследовательские работы как:

Исследование влияния неотектонических движений кристаллического фундамента Кривбасса на осадочный чехол для прогнозирования сдвижений в горных отводах горно-обогатительных комбинатов (ГР № 0108U009442), руководитель - к.г.-м.наук, Ахкозов Ю.Л. [7];

Исследование и геомеханическое обоснование безопасного отвалообразования в зоне воронок и провалов шахты им. Ленина для выполнения технико-экономического обоснования рекультивации района зоны воронок и провалов шахты им. Ленина открытого акционерного общества «Криворожский железорудный комбинат» путем размещения вскрышных пород Первомайского карьера Северного горно-обогатительного комбината (ГР № 0109U006449), руководитель - к.т.н. Чистяков Е.П. [8];

Исследование горно-геологических, геомеханических условий отработки залежи «Объединенная» (Открытое акционерное общество «АрселорМиттал Кривой Рог») с целью определения наличия и состояния пустот под участком автодороги «Техбаза-кладбище «Западное» (ГР № 0110U004719), руководитель - к.т.н. Чистяков Е.П. [9];

Изучение и определение эффективности методов контроля, которые используются в настоящее время, за напряженно-деформированным состоянием массива горных пород вовремя разработки месторождений с горно-геологическими условиями, аналогичными условиям шахты им. «Орджоникидзе» Центрального горнообогатительного комбината (ГР № 0100U008014), руководитель - д.т.н., профессор Попов С.О. [10];

Исследование степени подработки восточного борта карьера №3 Открытого акционерного общества «АрселорМиттал Кривой Рог» подземными горными работами шахты «Валявко-Северная» и разработка мероприятий по безопасной эксплуатации зданий, сооружений и природных объектов от влияния подземных горных выработок шахты (ГР № 0111U004429), руководитель - к.т.н. Чистяков Е.П. [11];

Выявление пустот в восточном борту Глееватского карьера Центрального горнообогатительного комбината и разработка мероприятий по безопасному ведению горных работ в зонах его подработки подземными горными работами (ГР № 0111U004428), руководитель - к.т.н., доцент Сова А.А. [6];

Первым этапом создания эффективной региональной системы геомеханического мониторинга является разработка информационной системы или геоинформационной системы (ГИС), следуя терминологии, принятой в современной научно-технической литературе [12]. Если использовать аббревиатуру ГИС, то это геоинформационная система, где приставка "гео-" - производная от понятия "земля вообще", а не только "географический".

Назначение ГИС состоит в представлении пространственной основы поддержки принятия решений в задачах использования ресурсов Земли и для управления средой (инфраструктурой), созданной человеком. Все географические информационные системы строятся на основе формальных моделей, описывающих размещение в пространстве объектов, процессов и полей. Формальная модель в ГИС представляет собой обобщенную и четкую систему понятий и отношений, т.е. лексикон, который может быть применен для описания и объяснения объектов и процессов.

В последние годы новым направлением в комплексе исследований, способствующих повышению безопасности и экономической эффективности горных работ, становится микросейсмический мониторинг. Этот вид мониторинга основан на представительной регистрации сейсмических колебаний от небольших актов хрупкого разрушения в прибортовом породном массиве. Путем обработки получаемых сейсмических записей оцениваются характеристики процессов разрушения - их положение в пространстве, выделившаяся сейсмическая энергия и прочее.

В настоящее время накоплен положительный опыт использования микросейсмического мониторинга в качестве метода контроля устойчивости горных выработок и бортов карьеров [13-15]. Одно из главных преимуществ микросейсмического метода перед другими (маркшейдерскими измерениями, визуальными осмотрами) состоит в том, что наблюдениями охватывается трехмерный объем пород. Другой плюс данного метода заключается в непрерывности проведения наблюдений и в возможности оперативного получения результатов.

Испытания опытных образцов датчиков и систем контроля пройдут на восточном борту Глееватского карьера Центрального горно-обогатительного комбината (ВАРИАНТ КАРЬЕР) и на объектах шахтоуправления Публичного акционерного общества «АрселорМиттал Кривой Рог» (ВАРИАНТ ШАХТА).

Для проведения таких испытаний будут выполнены два пилотных проекта:

«Опытная ГИС Глееватского карьера ПАО « Центральный ГОК »»;

«Опытная ГИС шахтоуправления «ПАО АрселорМиттал Кривой Рог»».

В настоящее время НИГРИ выполняет научные и предпроектные работы направленные на создание специализированной геоинформационной системы непрерывного дистанционного мониторинга массивов горных пород в зонах влияния подземных пустот в Кривбассе. Основой проекта является разработанная с привлечением широкого круга специалистов большинства ведущих научных центров горного профиля Украины программа научно-исследовательских и проектных работ. Она включает в себя следующие основные этапы:

Анализ геомеханических условий совместной отработки залежей магнетитовых кварцитов и богатых руд. Определение механизмов смещения подработанной подземными работами толщи пород и мест мониторинга опасных зон. В результате чего будут определены места мониторинга опасных зон, выбраны эффективные методы мониторинга, соответствующие горно-геологическим условиям разработки.

Лабораторные исследования влияния техногенных факторов на уровень безопасного состояния подработанного подземными работами массива пород, по результатам которых будет выполнено определение напряженного состояния массива пород подработанного подземными работами.

Разработка проекта и рабочей документации на аппаратную часть исследовательской специализированной информационной системы непрерывного дистанционного мониторинга геомеханического состояния массива пород в зонах влияния подземных пустот. Разработка проекта и рабочей документацией на бурение и оборудование скважин.

Разработка методики обработки результатов непрерывного дистанционного мониторинга состояния массива горных пород в зонах влияния подземных пустот.

Монтаж аппаратной части исследовательской ГИС. Ввод в опытную эксплуатацию.

Разработка экспертной системы диагностики информационной части исследовательской ГИС.

Моделирование геомеханического состояния массива пород по результатам измерений аппаратной частью исследовательской ГИС, в результате которого должна быть разработана компьютерная модель геомеханического состояния массива пород в формате информационной части исследовательской ГИС.

Экспериментальные исследования и испытания опытной ГИС, по завершении чего будет выдано заключение о работоспособности ГИС и выявленных недостатках ее функционирования.

Доработка ГИС для устранения выявленных недостатков и разработки рекомендаций по ее эффективной эксплуатации.

После проведения испытаний ГИС предусматривается внедрение ее на всех горнодобывающих предприятиях как неотъемлемой части технологии добычи железных руд в Кривбассе (ГИС-Кривбасс).

Создание ГИС-Кривбасс и мероприятия программы «Исследование состояния техногенной части земной коры Криворожского бассейна для предупреждения на его территории катастроф природно-техногенного характера на 2013-2016 гг.», концепция которой проходит утверждение в Кабинете министров Украины, переплетаются между собой как два неотъемлемых элемента комплексного решения проблем Криворожского бассейна. В связи с этим при разработке ГИС-Кривбасс обязательным является ее увязка с положениями упомянутой программы.

Выводы и направления дальнейших исследований. Таким образом, реализация информационной системы контроля состояния массива позволит:

своевременно определять во времени и пространстве области запредельного напряженного состояния;

своевременно сообщать о явлениях, которые могут привести к аварийной ситуации;

локализовать участки возникновения акустических импульсов, выделять активные зоны и зоны задержки деформаций;

определять участки сосредоточения очагов импульсов, возможно связанных с геологическими нарушениями;

оценивать энергетический уровень источников акустических импульсов;

оценивать напряженное состояние массива по изменению скорости распространения волновых пакетов и их амплитудных энергетических характеристик;

в совокупности с другими системами прогноза и контроля состояния массива повысить безопасность ведения горных работ и сооружений, находящихся в зоне их влияния.

Список литературы

1. Г.Н.Кузнецов, М.Н.Будько, Ю.Н.Васильев, М.Ф. Шклярский, Г.Г. Юревич. Моделирование проявлений горного давления. Л: Недра,1968.-280с.

2. E. Chistyakov, V. Ruskh, S. Zubko. Investigation of the geomechanical processes while mining thick ore deposits by room systems with backfill of worked-up area. Geomechanical processes during underground mining. School of Underground Mining, Dnipropetrovsk/Yalta, Ukraine, 24-28 September 2012, p 127- 132

3. Фрохт М.М. Фотоупругость, т.1. М., Л: ОГИЗ, 1948. - 432 с.

4. Хаимова - Малькова Р.И. Методика исследования напряжений поляризационно - оптическим методом. М: Наука, 1970. - 114 с.

5. Отчет по научно-исследовательской работе «Исследование на моделях из эквивалентных материалов процессов деформаций прилегающего к выработанному пространству горного массива при различных порядках отработки очистных камер в условиях этажа 940... 1040м. Мониторинг состояния подрабатываемого массива этажа 301...330м Южно-Белозерского месторождения»// ГП «НИГРИ», 2011- 79 с.

6. Отчет по научно-исследовательской работе «Выявление пустот в восточном борту Глееватского карьера и разработка мероприятий по безопасному ведению горных работ в зонах его подработки подземными горными работами»// ГП «НИГРИ», 2011- 542 с.

7. Отчет по научно-исследовательской работе «Исследование влияния неотектонических движений кристаллического фундамента Кривбасса на осадочный чехол для прогнозирования сдвижений в горных отводах горно-обогатительных комбинатов»// ГП «НИГРИ», 2009- 138 с.

8. Отчет по научно-исследовательской работе «Исследование и геомеханическое обоснование безопасного отвалообразования в зоне воронок и провалов шахты имени Ленина для выполнения технико-экономического обоснования рекультивации района зоны воронок и провалов шахты имени Ленина открытого акционерного общества «Криворожский железорудный комбинат» путем размещения вскрышных пород Первомайского карьера Северного горно-обогатительного комбината»// ГП «НИГРИ», 2009- 27 с.

9. Отчет по научно-исследовательской работе «Исследование горно-геологических, геомеханических условий отработки залежи «Объединенная» (Открытое акционерное общество «АрселорМиттал Кривой Рог») с целью определения наличия и состояния пустот под участком автодороги «Техбаза-кладбище «Западное» »// ГП «НИГРИ», 2010- 177 с.

10. Отчет по научно-исследовательской работе «Изучение и определение эффективности методов контроля, которые используются в настоящее время, за напряженно-деформированным состоянием массива горных пород во время разработки месторождений с горно-геологическими условиями, аналогичными условиями шахты им. «Орджоникидзе» »// ГП «НИГРИ», 2011- 152 с.

11. Отчет по научно-исследовательской работе «Исследование степени подработки восточного борта карьера №3 Открытого акционерного общества «АрселорМиттал Кривой Рог» подземными горными работами шахты «Валовко-Северная» и разработка мероприятий по безопасной эксплуатации зданий, сооружений и природных объектов от влияния подземных горных выработок шахты» »// ГП «НИГРИ», 2011- 128 с.

12. **Журавков М.А., Видякин В.В., Коновалов О.Л., Клевченя А.В., Славашевич С.И.** Роль и место ГИС в интегрированной системе регионального геомеханического мониторинга районов крупномасштабной подземной разработки месторождений полезных ископаемых // Сайт Белгосуниверситета.

13. **Маловичко Д.А., Линч Р.Э.** Микросейсмический мониторинг бортов карьеров / Вестник МГТУ, том 12, №4, 2009. с. 644-653.

14. **Mansurov V. A.** Prediction of Rockbursts by Analysis of Induced Seismicity Data // Int. J. of Rock Mechanics and Mining Sci., 2001. Vol. 38, №. 6. P. 893-901.

15. **Lynch R.A., Wuite, R., Smith B.S., Cichowicz A.** Micro-seismic monitoring of open pit slopes // Proc. of the 6th Symposium on Rockbursts and Seismicity in Mines, ed. Y.Potvin and M.Hudyma. – ACG: Perth, 2005. – pp.581-592.

Рукопис подано до редакції 21.03.13

УДК 622.271.3

Ю.В. ПЕРЕГУДОВ, инженер, ГП «ГПИ«Кривбасспроект»

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЕДЕНИЯ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ НА КРУТОПАДАЮЩИХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ В ЗОНАХ ВОЗМОЖНОГО ОБРУШЕНИЯ

Проведен анализ опыта отработки месторождений открытым способом на подработанных от подземной разработки территориях. Приведены основные принципы оценки эффективности разработки.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Особенности строения рудных тел крутопадающих месторождений определяют технологию их отработки. Наличие пластов бедных и богатых руд, их расположение в пространстве, глубина залегания, имеет основное значение при выборе способа отработки - открытого или подземного. В случае благоприятных условий залегания целесообразно применение совместной, открыто-подземной отработки одного месторождения. При этом, развитие подземных и открытых горных работ производится по взаимозависимым технологическим схемам.

На местах крупных рудных залежей, таких как Криворожский железорудный бассейн, промышленная отработка рудных тел началась еще в конце XIX века, и во многих случаях была стихийной. Первоначально, доминирующим способом отработки был подземный, с применением систем с массовым обрушением. Затем, с развитием техники и технологии, начал развиваться открытый способ добычи. Практически на всем протяжении Криворожского железорудного бассейна в разное время существовали подземные либо открытые рудники, ведущие добычу полезного ископаемого. При добыче руды системами с массовым обрушением, в земной коре неминуемо начинаются процессы сдвижения и расслоения покрывающих пород. В случае отработки крупных залежей могут образовываться пустоты в недрах, выходящие в виде воронок провала на поверхность. За время разработки месторождений был накоплен значительный объем непогашенных пустот. Таким образом, при дальнейшем развитии открытых горных работ и доработке карьеров, части бортов карьеров могут оказаться в зоне обрушения и воронкообразования, что требует изыскания безопасных технологий отработки данных участков и анализа эффективности современных методов ведения горных работ на подработанных территориях.