

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ  
ИНСТИТУТ ГЕОТЕХНИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ

---

ISSN 1607-4556

# ГЕОТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

МЕЖВЕДОМСТВЕННЫЙ СБОРНИК  
НАУЧНЫХ ТРУДОВ

ВЫПУСК 29

*Сборник рекомендован к печати ученым советом  
Института геотехнической механики НАН Украины*



ДНЕПРОПЕТРОВСК  
2001

пряжение не мало и главные напряжения не сохраняют пропорциональность друг другу, зависимости  $k(\lambda)$  имеют значительно более сложный характер. Важно, однако, что при решении с использованием МКЭ всегда можно с достаточной для практических целей точностью рассчитать напряженно-деформированное состояние, а затем, в соответствии с критерием (6), определить интересующие нас опасные зоны (в данном случае – зоны обрушения свода камеры).

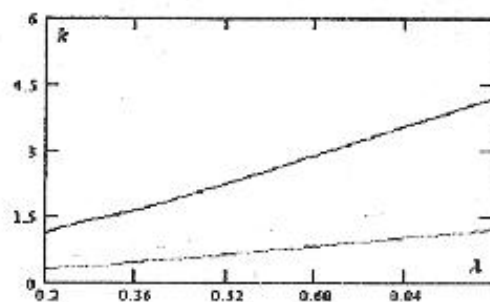


Рис. 3—Изменение нормализованного приведенного напряжения.

Таким образом, в настоящей работе показано, что применение мощных численных методов определения напряженно-деформированного состояния горных пород в окрестности подземных сооружений (в частности, камер) позволяет, с одной стороны, значительно снизить трудоемкость исследований по оценке несущей способности и, с другой стороны, одновременно существенно повысить точность и надежность полученных оценок. Применительно к поставленной выше задаче результаты численного решения дают основание утверждать, что степень негидростатичности исходного напряженного состояния весьма значительно отражается на прочностных свойствах свода камеры.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.Н. Шашенко, Н.С. Сургай, Л.Я. Парчевский. Методы теории вероятности в геомеханике. – К.: Техника, 1994. – 216 с.
2. В.П. Пустовойтенко. Геотехнічне забезпечення підземного будівництва в Україні. –К.:Наукова думка, 1999. – 264 с.
3. П.П. Баладин. К вопросу о гипотезе прочности. //Вестник инженеров и техников. – 1937. –№ 1. – С. 122-127.

УДК 622.831.322

Е.В. Гладкая, В.Н. Ревва,  
Н.А. Рязанцева, Н.А. Рязанцев

### СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СПОСОБА ПРОГНОЗА ВЫБРОСООПАСНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД ПО ЭФФЕКТИВНОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЭНЕРГИИ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ

Обґрунтовано спосіб прогнозу викиднебезпечності гірничих порід за ефективною поверхневою енергією з урахуванням структурно-фазових переходів і наведено результати його застосування на шахті ім. А.Г. Стаханова.

Прогноз выбросоопасности горных пород по их эффективной поверхностной энергии, созданный в ОФТП ДОНФТИ НАНУ, является одним из норма-

тивных способов [1]. Неудобство способа заключается в том, что для определения эффективной поверхностной энергии (ЭПЭ) необходимы лабораторные испытания на образцах определенной формы с искусственно нанесенной трещиной [2]. Кроме того, необходимо определение модуля упругости пород на образцах кубической или цилиндрической формы. Сложность заключается также в необходимости вычисления критических перепадов ЭПЭ.

В работе [3] предложен способ определения ЭПЭ на образцах без трещины при объемном неравнокомпонентном сжатии, когда на одних и тех же образцах одновременно определяется и модуль упругости, и ЭПЭ. Однако наиболее удобным для использования непосредственно на месте ведения горных работ является экспресс-метод определения выбросоопасности [4].

Многолетний опыт применения способа прогноза по эффективной поверхностной энергии, в частности на ш. им. А.Г. Стаханова (ПО «Красноармейскуголь»), шахтные наблюдения за изменчивостью свойств пород на шахтах им. Скопинского, «Глубокая» (ГХК «Донуголь») [5-6] показывают, что ЭПЭ действительно является наиболее чувствительной и изменчивой характеристикой физико-механических свойств горных пород, интегрально отражающей любые изменения в структуре, минеральном составе, физическом и фазовом состоянии горных пород.

Шахтные исследования и наблюдения за изменчивостью физико-механических параметров пород установили наличие периодического характера изменения прочности, пористости, влажности, скорости упругих волн, модуля упругости, эффективной поверхностной энергии и т.д. (практически всех параметров). Длина волны при этом соответствует собственным частотам колебаний отдельных структурных элементов горного массива и составляет 2-10 м (частоты 300-2000 Гц).

Характерно, что резкое увеличение амплитуды и частоты колебаний перечисленных параметров наблюдается в зонах тектонических нарушений, являющихся потенциальными источниками газа метана. Как правило, выбросы породы и газа приурочены к границам зон влияния разрывных нарушений.

Вне зон тектонических нарушений и выбросоопасных зон длина волны составляет 5-10 м, а изменение амплитуды колебаний пористости не более 5%, прочности на разрыв – 3 МПа, прочности на сжатие – 30 МПа, скорости продольной волны – 2 км/с, модуля упругости – 4 ГПа, эффективной поверхностной энергии – 10 Дж/м<sup>2</sup> (скв. 561, 571, 578, 1010 и др. шахты им. А.Г. Стаханова).

В зонах тектонических нарушений и выбросоопасных зонах длина волны уменьшается до 2-2,5 м, а изменение амплитуды колебаний пористости – до 7%, прочности на разрыв – до 5 МПа, прочности на сжатие – 70 МПа, модуля упругости – 10 ГПа, поверхностной энергии – 50 Дж/м<sup>2</sup>. При этом наиболее существенным и достоверным следует считать изменения скорости упругих волн, модуля упругости и ЭПЭ, которые выходят далеко за пределы точности их определения.

Приведенные данные противоречат общепринятому мнению о том, что вторичная неоднородность горного массива, связанная с преобразованием пород под действием геологических и технологических факторов, характеризуется хаотичностью физико-технических параметров горных пород из-за крайней неравномерности этих преобразований [7].

Следует также отметить, что в выбросоопасных зонах (рис.1) экстремумы

модуля упругости (или скорости упругих волн) и ЭПЭ совпадают (синфазное изменение параметров), в невыбросоопасных зонах указанные параметры изменяются в противофазе (рис.2, 3).

Ранее экспериментально и теоретически было показано [8], что разрушение горных пород в объемном поле сжимающих напряжений сопровождается сменой механизма разрушения, структурно-фазовыми переходами (само разрушение, также рассматривается как критический переход), которые приводят к аномалиям прочности, пластичности и ЭПЭ. В основном породообразующем минерале песчаников – кварце при этом поочередно происходит ряд структурных переходов:  $\alpha$  - кварц  $\leftrightarrow$   $\beta$  - кварц  $\leftrightarrow$   $\beta$  - тридимит  $\leftrightarrow$   $\beta$  - кристобалит  $\leftrightarrow$  расплав.

Дальнейшие исследования и наблюдения показали, что в зонах тектонических нарушений, а также вне зон на глубинах более 900 м, в песчаниках устанавливается наличие структурно-фазовых переходов с переходом  $\alpha$  - кварца в  $\beta$  - кварц (рис.4), увеличением объема и образованием криволинейных трещин вместо прямолинейных.  $\alpha \rightarrow \beta$  - переход осуществляется смещением кристаллографических плоскостей без разрыва координационных связей.

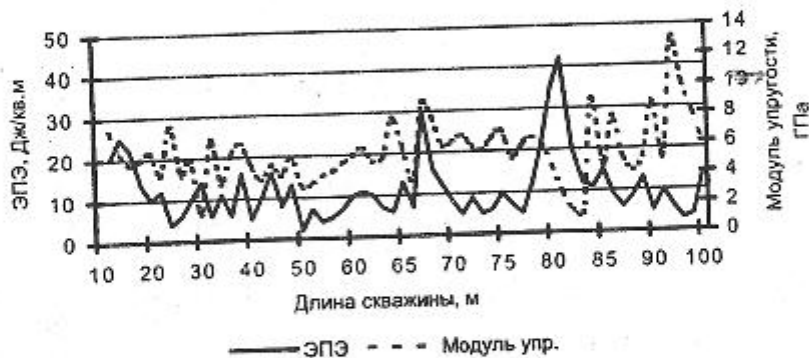


Рис. 1 - Изменение эффективной поверхностной энергии и модуля упругости в скважинах 988 и 998 откаточного кварцита на пласт  $k_5$  блока 4 гор. 986 м шахты им. А.Г. Стаханова

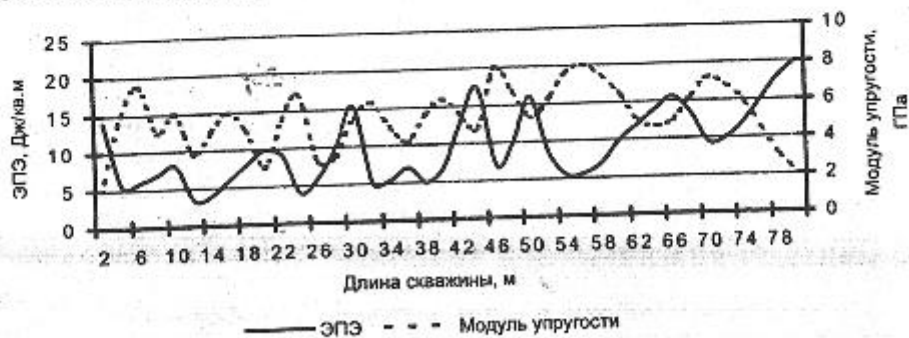


Рис. 2 - Изменение эффективной поверхностной энергии и модуля упругости песчаника в воздухоподводящем кварцитах на пласт  $k_5$  блока 4 гор. 825 м шахты им. А.Г. Стаханова по скв. №561, 571



Рис. 3 - Изменение прогнозных показателей в конвейерном квершлага на пласт I<sub>1</sub> гор. 986 м блока №2 шахты им. А.Г.Стаханова

Появление  $\beta$ - кварца (до 100%) в песчанике, в качестве основной фазы, является границей действия повышенных напряжений в угольном пласте, что весьма важно при прогнозе тектонических разрывов с различной амплитудой смещения.

В выбросоопасных зонах обнаруживаются также более высокотемпературные переходы типа порядок-беспорядок, которые устанавливаются по наличию тридимита, кристобалита, аморфизованного кремнезема.

При этом фаза кристобалита соответствует основной фазе породообразующего кварца в песчанике. Так, в непосредственной близости от мест выброса породы и газа, приуроченных к тектоническим разрывным нарушениям, в песчанике обнаруживается  $\beta$ -кристобалит при основной фазе в виде  $\beta$ -кварца. Вне зон влияния разрывных нарушений, в местах выброса породы и газа, наряду с основной фазой кварца в виде  $\alpha$ - $SiO_2$ , для песчаника характерно присутствие высокотемпературной фазы  $\alpha$ -кристобалита и резкое увеличение содержания  $\beta$ -кварца, в качестве сопутствующей фазы.

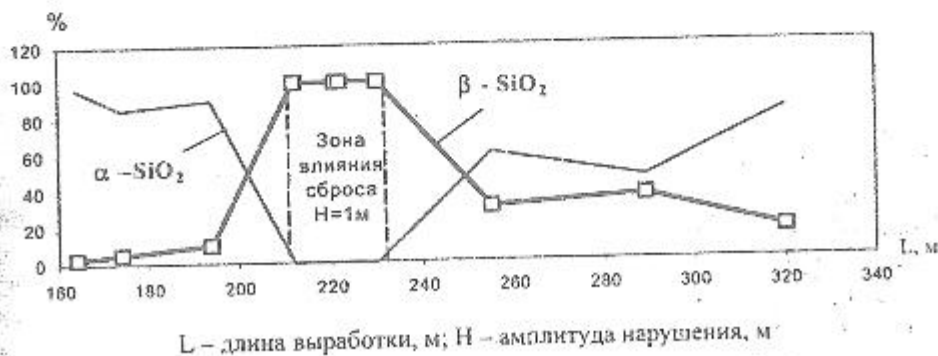


Рис. 4 - Структурное состояние кварца в песчанике пласта  $h_4$  в зоне разрывного нарушения сбросового типа по бортовой выработке №18 шахты «Глубокая» (ГХК «Донуголь»)

В невыбросоопасных зонах, при изменениях ЭПЭ и модуля упругости в противофазе, наличие высокотемпературных модификаций кварца в виде кристобалитов, может выступать в качестве дополнительного признака при прогнозе тектонической трещиноватости.

Наряду с признаками разупорядочения обнаруживается повышение степени кристалличности, что объясняется дроблением кристаллов на более мелкие блоки с относительно правильной структурой.

Эффективная поверхностная энергия, пропорциональная квадрату прочности и обратно пропорциональная модулю упругости, синфазно изменяется с модулем упругости только в прочных и жестких (компетентных) слоях, являющихся концентраторами напряжений, к которым и приурочена выбросоопасность.

Таким образом, приведенные данные позволяют при прогнозе выбросов избежать количественных прогнозных показателей упругости и эффективной поверхностной энергии, и перейти к фазовым, частотным и амплитудным характеристикам их изменения, что существенно упрощает прогноз и увеличивает его точность.

Применение усовершенствованного способа на шахте им. А.Г. Стаханова подтвердило его более высокую надежность за счет избежания неоднозначности при наличии необходимых перепадов ЭПЭ в податливых (с малым модулем упругости) слоях, либо, связанных со сменой гранулометрического состава (изменением размеров зерен) пород. Так, в забое заезда в камеру электроподстанции блока №2 была пробурена скважина длиной 8 м, керн которой делился на диски толщиной 1 см по всему интервалу. Прогноз по эффективной поверхностной энергии согласно «Инструкции...» также обнаружил в интервале 5-6 м опасную границу раздела слоев песчаника, при переходе которой должны наблюдаться микровыбросы. Согласно же прогнозу по ЭПЭ компетентного слоя (предлагаемая методика), весь интервал длиной 8 м не опасен, так как прогнозные параметры изменяются в противофазе при постоянной длине волны 5 м.

В забое конвейерного квершлага на пласт  $l_7$  гор.986 м пробурена скважина длиной 20 м, керн которой разделен на диски по всему интервалу или имеет кольцевые трещины. Прогноз по ЭПЭ также выявил в интервале 13-16 м опасную зону. Однако по всей длине скважины, как показано на рис.3, наблюдается противофазное изменение эффективной поверхностной энергии и модуля упругости при постоянной длине волны 5 м, что по предлагаемой методике свидетельствует об отсутствии выбросоопасности, несмотря на резкое изменение ЭПЭ и упругости пород. При последующем проведении выработки динамических явлений в указанных интервалах не зафиксировано.

Аналогичная картина наблюдалась при проведении 7 северного квершлага пласта  $k_5$  блока 4 гор.825 м шахты им. Стаханова, длиной 60 м, где при бурении скважин были обнаружены диски.

Таким образом, наличие в песчанике высокотемпературных модификаций кварца (тридимита, кристобалита) при синфазном изменении ЭПЭ и модуля упругости, позволяет уточнить способ прогноза выбросов песчаников по ЭПЭ и может выступать в качестве самостоятельного признака выбросоопасности. Наряду с этим, исследования, проведенные при изучении ЭПЭ пород в зонах влияния мелкоамплитудных

тудных разрывных нарушений с учетом структурно-фазовых переходов, дают возможность использовать данный метод при прогнозе разрывной тектоники.

Авторы выражают благодарность докт. техн. наук, профессору А.Д. Алексееву за ценные советы и замечания при подготовке и проведении исследований.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по безопасному ведению горных работ на пластах, опасных по внезапным выбросам угля, породы и газа. М.: ИГД им. Скочинского, 1989. - 191 с.
2. Методические указания по применению способа прогноза выбросоопасности горных пород по их эффективной поверхностной энергии. / Алексеев А.Д., Недодаев Н.В., Рязанцев Н.А. Препринт ДонФТИ -83-20(75). Донецк: ДонФТИ АН УССР - 19 с.
3. АС № 1747992 СССР. Способ определения удельной поверхностной энергии горных пород. / А.Д. Алексеев, Н.А. Рязанцев, В.Н. Рева, Г.П. Стариков. БИ № 26. - 1992.
4. АС № 1793062 СССР. Способ прогноза аномальных геодинамических явлений в горном массиве. / Н.А. Рязанцев, В.В. Шамаев, А.К. Носач. - БИ № 5. - 1993.
5. Гладкая Е.В., к. т. н. Рева В.Н., Меляков А.Д., Литвинов А.В. Влияние мелкоамплитудной тектонической нарушенности угольных пластов на трещиностойкость вмещающих пород. //Известия Донецкого горного института. -2001. -№ 1.
6. Гладкая Е.В., Рева В.Н., Самойленко З.А., Пушенко Е.И. Исследование структурного состояния горных пород в зонах тектонической нарушенности. //ФТПП. 2001. -№ 3. -С.50-57.
7. Баклашов И.В., Картозия Б.А. Механика горных пород. - М.: Недра, 1975. - 271с.
8. Алексеев А.Д., Рева В.Н., Рязанцев Н.А. Разрушение горных пород в объемном поле сжимающих напряжений. Киев: Наукова думка, 1989. - 168 с.

УДК 622.831

В.С.Кулинич, С.В.Кулинич

### ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ГИДРАВЛИЧЕСКИМ РАЗРЫВОМ

Викладені результати комплексних досліджень закономірностей руйнування гірських порід гідрравлическим розривом.

В ИГТМ НАН Украины выполнен комплекс теоретических, лабораторных и натурных исследований по изучению процесса и закономерностей разрушения горных пород внутрискважинным гидростатическим давлением. Методика проведения лабораторных исследований включала: отбор образцов горных пород из kernового материала разведочных скважин и призабойной части подготовительных выработок глубоких шахт; бурение в испытуемых образцах нагнетательных скважин диаметром от 5 до 50 мм; герметизацию камер нагнетания различной длины и ориентации относительно структурных элементов; нагнетание рабочей жидкости до критического давления, приводящего к образованию начальных трещин; подращивание трещин до выхода их на внешнюю поверхность образцов; определение силовых параметров разрушения и пределов их изменений с учетом влияния природных и технологических факторов; изучение кинетики распространения трещин в породных образцах и изготовленных из прозрачных, оптически активных материалов при различных режимах внутрискважинного нагружения. Для поэтапной регистрации процесса разрушения образцов трещинами гидравлического разрыва использовали тензометрические, фотомеханические и акустические методы, скоростную киносъемку, видеорегистрацию. Внешнюю нагрузку создавали механическими и гидравлическими нагрузочными устройствами. Внутреннее нагружение осуществляли высокона-