

4. Васильев В.П., Малинин С.И. Влияние основных геологических факторов на поведение пород в горных выработках.- М.: Госгортехиздат, 1960. – 96 с.
5. Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основы физики горных пород. – М.: Недра, 1978. – 390 с.
- Свержевский В.Л. О результатах изучения устойчивости пород кровли и почвы горных выработок шахт Донецкой области // Материалы по геологии и разведке углей Донбасса.– М.: Недра, 1969. – С. 132 – 145.
6. Свержевский В.Л., Субботин В.П. Зоны искусственной трещиноватости в кровле и почве очистных выработок // Уголь Украины. – 1976. – № 10. – С. 44 – 45.
7. Костенко В.К. Геомеханические и аэрологические основы предотвращения пожаров от самонагревания угля в шахтах: Автореф. ...д-ра техн. наук: 21.06.02 / МакНИИ. – Макеевка, 2004. –36 с.
8. Свойства горных пород и методы их определения / Е.И. Ильницкая, Р.И. Тедер, Е.С. Ватолин и др.- М.: Недра, 1969. – 392 с.
9. Руппенейт К.В. Деформируемость массивов трещиноватых горных пород.- М.: Недра, 1975. – 222 с.
10. Заславский Ю.З. Исследование проявлений горного давления в капитальных выработках глубоких шахт Донецкого бассейна.- М.: Недра, 1966. – 180 с.
11. Борисов С.Ф. Межфазная граница газ- твердое тело: структура, модели, методы исследования: Учебное пособие. – Екатеринбург: Из-во УГУ, 2001. – 268 с.
12. Коган М.Н. Динамика разряженного газа.- М.: Наука, 1967.
13. Шапошник В.А. Мембранные методы разделения смесей веществ / Соросовский образовательный журнал. – 1999. – № 9. – С. 26 – 32.

УДК 550. 83

Канд. геол. наук М.М.Довбнич,
канд. геол. - минерал. наук В.П. Солдатенко
(Национальный горный университет),
канд. физ.-мат. наук А.А. Бобылев
(ДГУ)

ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ УГЛЕПОРОДНОГО МАССИВА НА ОСНОВЕ СТРУКТУРНО-СКОРОСТНЫХ МОДЕЛЕЙ СРЕДЫ

В роботі розглянуто основні методичні положення, результати розрахунків та аналізу літостатичних і тектонічних напружень, що діють в осадовій товщі, на основі геомеханічних моделей, які отримано за даними сейсморозвідки. Обговорюється можливість використання полів механічних напружень при вирішенні широкого кола задач вугільної геології.

ESTIMATION OF THE STRESS- DEFORMED STATE OF THE COAL-SEDIMENTARY COVER ON THE BASIS OF STRUCTURAL-VELOCITY MODELS

The calculation and the analysis of the tectonic and lithostatic stresses in the sedimentary cover on the basis of structural-velocity models using the seismic date were considered. The opportunities of mechanical stress fields usage as an additional criterion at geological constructions is discussed.

Одним из направлений исследовательской работы кафедры геофизических методов разведки Национального горного университета является оценка и анализ напряженно-деформированного состояния геологической среды геофизическими методами [1-3]. Геофизические данные косвенно позволяют выполнять оценку напряженно-деформированного состояния на значительных по площади территориях. Напряженно-деформированное состояние является одной из важнейших ха-

рактических, определяющей развитие большинства геологических процессов. Анализ напряженного состояния геологической среды является актуальным для решения целого ряда теоретических и практических задач. Изучение полей напряжений в геологии имеет вековую историю, тем не менее, остаются нерешенными многие вопросы и, как следствие, не иссякает интерес исследователей к данному вопросу.

Цель настоящей работы – рассмотрение подхода оценки и последующего анализа литостатических и тектонических напряжений в осадочной толще на основе геомеханических моделей среды, получаемых по данным сейсморазведки.

Геологическая среда подвержена воздействию механических силовых полей различной природы и, как следствие, находится в некотором напряженно-деформированном состоянии. В общем случае в любой точке среды действует два независимых силовых поля: литостатическое, обусловленное весом вышележащих пород и тектоническое, связанное с тектоническими процессами. Возникающие при этом тектонические напряжения могут многократно, иногда на 1-2 порядка, превосходить литостатические напряжения [4]. Применительно к угольной геологии информация о напряженно-деформированном состоянии позволяет решать задачи, связанные с оконтуриванием зон развития повышенной трещиноватости и малоамплитудной тектоники, определять вероятные направления естественной миграции углеводородов, исследовать изменение емкостных свойств трещиноватых коллекторов, строить модели формирования и развития зон скопления метана, прогнозировать газодинамические явления и пр.

На сегодняшний день сейсморазведка является единственным геофизическим методом, позволяющим с одной стороны выполнить детальные структурные построения исследуемой толщи, а с другой – на основе анализа скоростей распространения упругих волн и плотности дать весьма точную информацию об упругих свойствах среды. Подобные данные, в свою очередь, позволяют построить геомеханическую модель, представляющую собой структурную модель с заданными упругими свойствами. Как следствие, появляется необходимая информация для оценки напряженно-деформированного состояния среды.

Исследователи неоднократно в своих работах [5] отмечали возможность изучения напряженно-деформированного состояния на основе структурно-скоростных моделей среды по данным сейсморазведки.

Предлагаемый в настоящей работе подход позволяет выполнять оценку литостатических и тектонических напряжений в рамках упругой изотропной модели среды, и включает в себя следующие этапы:

1. Создание 3D геомеханической модели среды.

Выполнение данного этапа предполагает создание цифровой 3D структурной модели среды и ее “начинка” упругими модулями – коэффициентом Пуассона и модулем Юнга. Структурные модели могут быть построены как на основе интерпретации сейсмических данных, так и по данным бурения в пределах шахтных полей. Что касается законов распространения продольных и поперечных волн, то данная информация может быть получена главным образом на основе анализа результатов трехкомпонентного вертикального сейсмического профилирования (ВСП-3С), а также при полевых трехкомпонентных сейсмических исследованиях.

2. Расчет тензора литостатических напряжений.

Оценка литостатических напряжений выполняется на основе 3D геомеханической модели с помощью аналитических выражений, полученных А.И. Динником для упругой изотропной среды. В соответствии с этими уравнениями возможна оценка вертикальных и горизонтальных литостатических напряжений и, как следствие, анализ отклонений от гидростатического распределения литостатических напряжений в зависимости от упругих свойств среды и выделение локальных зон растяжения–сжатия литостатической природы, что в свою очередь может дать ответы на многие вопросы, возникающие в угольной геологии. В тоже время, принимая во внимание, что тектонические напряжения могут превышать литостатические, анализ только лишь последних может оказаться недостаточным.

3. Восстановление вероятных перемещений тектонической природы для точек среды на границах осадочной толщи (граничные условия при расчете тектонических напряжений).

Данный этап является важнейшим звеном в оценке тектонических напряжений. При его выполнении используется следующая рабочая гипотеза – тектоническое силовое воздействие, создающее поле напряжений, находит отражение в особенностях строения осадочной толщи (гипсометрия отражающих границ, тектонические нарушения, изменение относительной мощности пластов и пр.). Авторами разработаны оригинальные алгоритмы расчета вероятных перемещений тектонической природы на основе анализа структурной модели исследуемой среды.

4. Создание конечно-элементной модели, расчет перемещений тектонической природы, тензора деформаций и тензора тектонических напряжений по некоторой сети.

Для расчета напряженно-деформированного состояния геологической среды применяется метод конечных элементов в форме метода перемещений (МКЭ). В качестве граничных условий выступают определенные ранее перемещения на границах осадочной толщи. С целью снижения вычислительных затрат в настоящей работе использовались многосеточные варианты МКЭ [6, 7]. Данный подход заключается в последовательном решении сеточных задач, начиная с самой грубой сетки, где решение может быть осуществлено довольно экономично. Затем полученное решение интерполируется на более мелкую сетку и используется в качестве начального приближения в последующем итерационном процессе. Методом вычислительного эксперимента определены оптимальные стратегии вычислений на последовательности сеток. Вычисления проводились для гексаэдральных элементов первого порядка. Анализ полученных численных результатов показал, что использование разработанных многосеточных вычислительных алгоритмов позволяет существенно, в некоторых случаях на два порядка, снизить затраты машинного времени при расчете напряженно-деформированного состояния геологической среды.

Вычислительные алгоритмы, используемые в настоящей работе, реализованы в виде пакета прикладных программ, с применением которого выполняются все необходимые расчеты напряженно-деформированного состояния геологической среды.

Исходные данные при выполнении расчетов – структурные модели среды и скоростные законы для продольных и поперечных волн.

Получаемая в ходе расчетов 3D модель распределения литостатических и тектонических напряжений позволяет строить сечения в заданных направлениях и выполнять их последующую геологическую интерпретацию.

В качестве примера реализации данного подхода рассмотрены результаты анализа напряженно-деформированного состояния осадочной толщи литостатической и тектонической природы на Новостепановской площади, расположенной в прибрежной зоне Северного борта Днепровско-Донецкой впадины. Данные исследования выполнялись с целью решения задач нефтегазовой геологии, тем не менее, полученные результаты позволяют оценить перспективы применения данного подхода в угольной геологии. Для данной площади в ходе выполнения 2D сейсморазведочных работ выполнено построение структурных карт по трем отражающим горизонтам: в подошве отложений башкирского яруса среднего карбона; в средней части отложений серпуховского яруса нижнего карбона; в подошве отложений верхневизейского подъяруса нижнего карбона. Именно с этим интервалом глубин связана основная газоперспективность площади. В одной из скважин в пределах площади выполнено ВСП-ЗС и получены зависимости $V_p(h)$ и $V_s(h)$. Данная информация послужила основой для построения 3D геомеханической модели и последующего расчета напряжений (рис. 1). Полученная 3D модель распределения литостатических и тектонических напряжений, позволила выполнить построение сечений в интересующих направлениях.

В качестве примера геологической интерпретации, полученных данных о напряженном состоянии, рассмотрим построенные для одного из пластов коллекторов схему аномальной флюидодинамики, обусловленной тектоническими напряжениями (рис. 2, а) и схему аномального увеличения фильтрационно-емкостных свойств, обусловленных тектоническими напряжениями (рис. 2, б). В соответствии с законом Дарси скорость флюидопотока в коллекторе прямо пропорциональна разности давлений. Как следствие интенсивность динамики флюида будет определяться модулем градиента давлений, а ее направление – направлением вектора градиента. При этом давление в коллекторе будет определяться как литостатическими, так и тектоническими напряжениями, а именно шаровой составляющей тензоров этих напряжений. Следовательно, появляется возможность прогноза динамики флюида, обусловленного этими факторами. Под действием растягивающих и/или касательных напряжений происходит увеличение емкостных свойств и проницаемости коллектора. Информация о напряженно-деформированном состоянии позволяет прогнозировать такие области.

Полученные результаты и их геологическая интерпретация позволяют утверждать, что использование информации о напряженно-деформированном состоянии литостатической и тектонической природы как дополнительного критерия, позво-

лит повысить достоверность и геологическую содержательность построений при решении широкого круга геологических задач, в том числе и угольной геологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Довбнич М.М. Нарушение геоизостазии и напряженное состояние тектоносферы // Геофиз. журн. – 2008. – 30, № 4. – С. 123 – 132.
2. Довбнич М.М. О возможности использования полей напряжений, обусловленных нарушением геоизостазии при прогнозе горно-геологических условий // Геотехнічна механіка – Дніпропетровськ, 2006.– Вип. 67. – С. 332 – 338.
3. Довбнич М.М. Применение спутниковой и наземной гравиметрии для оценки геоизостатических напряжений тектоносферы – дополнительного критерия прогноза геодинамических процессов // Науковий вісник НГУ. – 2007. – № 11. – С. 64 – 70.
4. Тектонические напряжения в земной коре и устойчивость горных выработок / Турчанинов И.А., Марков Г.А., Иванов В.Н., Козырев А.А. – Л.: Наука, 1978. – 254 с.
5. Козлов Е.А. Модели среды в разведочной сейсмологии. – Тверь: ГЕРС, 2006. – 480 с.
6. Бобылев А.А., Гарт Э.Л. Применение многосеточного метода конечных элементов к решению контактных задач с идеальными односторонними связями // Техническая механика. Днепропетровск: ИТМ, 2003. – № 1. – С. 126 – 134.
7. Бобылев А.А. Гарт Э.Л. Исследование вычислительной эффективности проекционно-итерационного алгоритма решения контактных задач с идеальными односторонними связями // Вісник Дніпропетровського університету. Механіка. 2000. – Вип. 3, т. 2. – С. 3 – 11.

УДК 622.276

Канд. техн. наук В.Р. Возний

(Національний технічний університет нафти і газу)

БУРІННЯ РОЗВІДУВАЛЬНИХ І ДЕГАЗАЦІЙНИХ СВЕРДЛОВИН З ВИКОРИСТАННЯМ КАВІТАЦІЙНО-ПУЛЬСАЦІЙНОГО ПРОМИВАННЯ ЇХ ВИБОЇВ

Разработана методика расчета и оптимизации действия кавитационных пузырьков на горные породы. Предварительные гидравлические расчеты позволили выделить энергию кавитации, на основании которой создана практическая методика расчета размеров кавитационных пузырьков.

BORING OF RECONNAISSANCE AND DECONTAMINATION ACCESS BOREHOLES WITH THE USE OF THE CAVITATION-PULSATING WASHING OF THEIR BOTTOMHOLE

In the article the method of calculation and optimization of action of cavitation bubbles is developed on the mountain breed. Preliminary hydraulic calculations allowed to select energy of cavitation which in same queue allowed to create the practical method of calculation of sizes of cavitation bubbles.

З метою дегазації шахтних полів і подальшого промислового використання метану необхідно пробурити десятки тисяч свердловин глибиною від 500 до 1000 м. Для забезпечення необхідного рівня економії коштів потрібно максимально скоротити час буріння кожної свердловини. В цьому плані одним із найбільш перспективних способів є використання кавітаційно-пульсаційних технологій покращення процесу руйнування гірських порід.