УДК 622.831

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ДОБЫЧЕ МЕТАНА ИЗ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

М.Г.МУСТАФИН, *д-р техн. наук, заведующий кафедрой, mustafin_m@mail.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, Россия

Приведено описание методики моделирования напряженно-деформированного состояния угольного пласта и вмещающего массива горных пород при дегазации. Показан подход к определению входных параметров модели, рассчитываемых с использованием коэффициента пористости и пластового давления газа. Отмечена важность предрасчета значений усадки угольного пласта и оседаний земной поверхности. Приведен механизм формирования зон угольных пластов с повышенным газовым давлением, в которых эффективно газоизвлечение.

***Ключевые слова*:** угольный пласт, массив горных пород, напряженно-деформированное состояние пород, скважинная дегазация, зона повышенного горного давления, пластовое давление газа.

Добыча метана из угольных пластов становится все более эффективной и может значительно снизить энергетические потребности в угольных регионах. Помимо газообеспечения существенно решается весьма острая проблема снижения опасности возникновения газодинамических явлений в шахтах. В этой связи, безусловно, открываются новые возможности управления геомеханическими процессами за счет изучения и использования закономерностей деформирования массива горных пород при газодобыче.

Извлечение газа приводит к усадке угольных пластов, что, в свою очередь, вызывает деформирование и сдвижение налегающей толщи пород. Этот процесс подобен тому, который наблюдается при разработке угольных пластов.

Моделирование выполнялось с использованием программного комплекса «НЕДРА» [1, 4], который реализует метод конечных элементов (МКЭ) для расчета напряженно-деформированного состояния (НДС) массива горных пород (МГП). Имитация усадки выполнялась за счет включения в модель элементов с меньшим модулем упругости (рис.1).

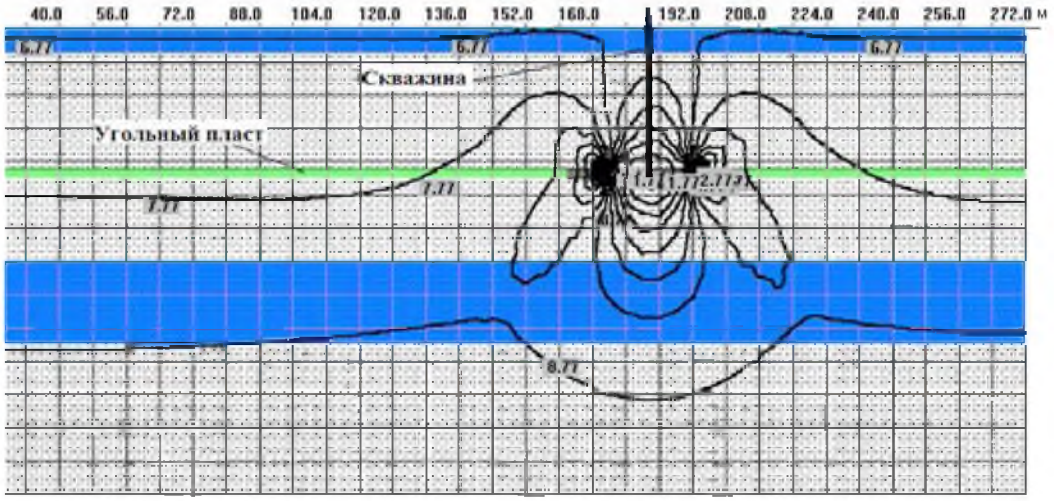


Рис.1. Общая картина распределения вертикальных напряжений в мегапаскалях у дегазированной зоны от одиночной скважины

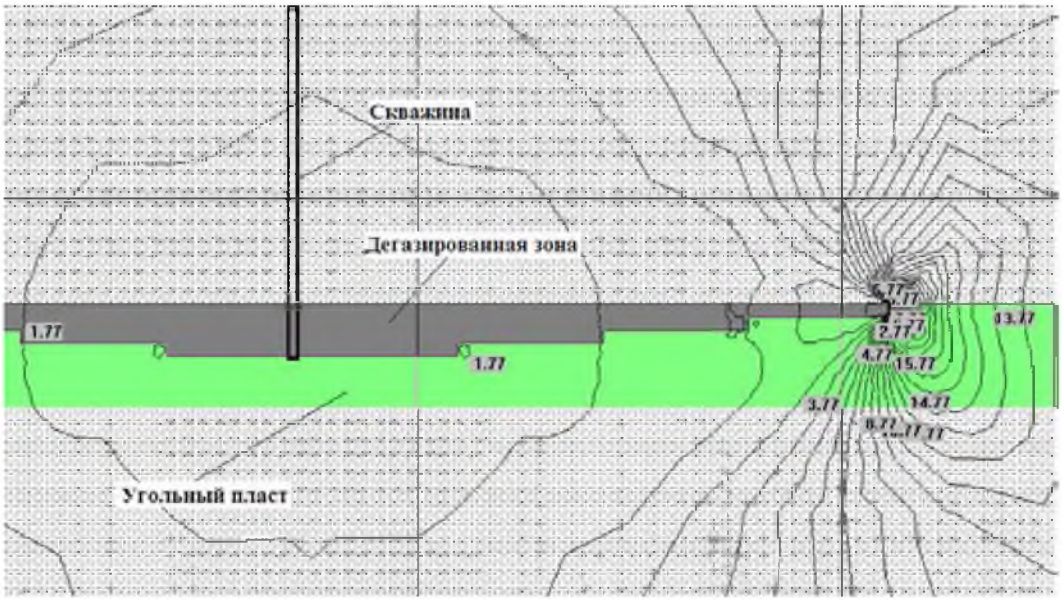


Рис.2. Фрагмент модели с распределением вертикальных напряжений в мегапаскалях

При этом степень усадки и податливость элементов определялась из соотношений модели двухфазной среды по формуле проф. К.Терцаги. Нейтральное давление газа в угольных пластах может составлять 3-5 МПа. Предварительно рассчитав НДС для МГП без учета газовой составляющей, можно вычислить эффективные напряжения и выделить долю усадки и соответственно измененную упругость угольного пласта.

Путем моделирования были определены НДС и степень усадки угольных пластов. В проведенных расчетах усадки для одиночной скважины были рассмотрены варианты с мощностью угольных пластов от 1 до 10 м на глубине 400-600 м. Фрагмент модели с распределением вертикальных напряжений приведен на рис.2 (мощность угольного пласта $m = 2$ м, глубина залегания $H = 400$ м). Определено, что в окрестности скважины максимальные усадки достигали 1,5 % (30 мм – в пересчете на натуру), а напряжения уменьшились до 25 % от исходных.

Выполнено сравнение полученных результатов с экспериментальными исследованиями усадки угольного пласта с привлечением метода моделирования на эквивалентных материалах [3], которое показало удовлетворительную сходимость параметров.

Возможность моделирования НДС МГП при дегазации угольных пластов позволяет решать важные задачи. Одна из них заключается в определении степени воздействия промыслового извлечения метана на земную поверхность. Дело в том, что на земной поверхности располагаются как природные, так и инженерно-технические объекты, которые необходимо охранять от вредного воздействия подземных горных работ. Результаты мониторинга земной поверхности на нефтяных месторождениях показывают, что смещения могут достигать десятков сантиметров и в основном зависят от глубины залегания продуктивного пласта, сроков добычи и ее интенсивности. При этом при газонефтедобыче можно использовать закономерности оседаний земной поверхности, установленные при разработке угольных пластов, безусловно, с дальнейшей коррекцией параметров сдвижения.

Приведенная методика может быть полезна при добыче метана в ходе разработки угольных пластов. При этом получение оперативной информации непосредственно по результатам наблюдений за газовой обстановкой или деформированием угольного пласта позволяет корректировать параметры моделей и прогнозировать развитие геомеханических процессов в реальном масштабе времени. Становится возможным управление состоянием массива горных пород, вмещающего выбросоопасные угольные пласты.

Возникновение внезапных выбросов обусловлено определенным сочетанием горного и газового давления в угольном пласте. Существуют условия, при которых опасная ситуация формируется еще до ведения горных работ. Такие случаи имеют сугубо природное происхождение. В то же время опасные условия могут быть сформированы горнотехническими факторами. Так, при проведении работ, особенно очистных, происходит существенное перераспределение горного и газового давления как в породном массиве, так и в угольных пластах. При этом вокруг очистной выработки формируются зоны повышенного и пониженного давления. В соответствии с «Инструкцией…» [3] зоны повышенного горного давления (ПГД) относят к особо выбросоопасным участкам угольного пласта. Ведение горных работ в этих зонах разрешается только при определенных условиях с применением комплекса специальных мер.

При изучении методики определения зон ПГД выяснилось, что ширина зоны опорного давления не зависит от длины лавы [5]. Ранее это обстоятельство не было столь значимым, так как длина лавы для всех бассейнов была примерно одинакова и варьировала от 90 до 120 м. В настоящее время этот параметр очистной выработки может достигать 250 м и более и, безусловно, его нужно учитывать при определении ширины зоны опорного давления. Так, в последнее время в Карагандинском угольном бассейне при отработке особо выбросоопасного угольного пласта $Д_6$ стали происходить внезапные выбросы вблизи очистной выработки, но на расстоянии, превышающем границы зоны опорного давления.

Выполненное моделирование НДС массива горных пород с применением программного комплекса «НЕДРА» [2] позволило скорректировать ширину зоны опорного давления l с учетом длины очистного забоя лавы L. Так, для глубины разработки $H = 600$ м, вынимаемой мощности угольного $m = 4$ м и длине очистного забоя лавы L, равной 100; 200 и 300 м, получим ширину зоны опорного давления l равной соответственно 72; 138 и 185 м. По «Инструкции…» [3] $l = 80$ м, т.е. нормативные величины были рассчитаны для существовавших в 1980-1990 годы размеров очистных выработок.

Перераспределение горного давления при ведении очистных работ влечет за собой изменение газового давления и в зоне ПГД, и в приконтурных к ней областях. Непосредственно в зоне ПГД по угольному пласту происходит существенное уменьшение порового пространства и, как следствие, вытеснение свободного газа в менее напряженные участки угольного пласта или во вмещающие породы, главным образом, при наличии в них различного рода дефектов (трещин). Угольный пласт характеризуется существенной неоднородностью физико-механических свойств. Кроме того, нередко в нем обнаруживаются разной величины геологические нарушения, в основном, так называемые мелкоамплитудные нарушения, которые, с одной стороны, являются проводниками перетекания газа, а с другой – источниками локальных зон повышенных напряжений (у торцов трещин).

При «прокатывании» зоны ПГД по участкам мелкоамплитудных нарушений последние, за счет разрушения межтрещинного пространства, образуют сеть газовых каналов. Не рассматривая вопросы фильтрации настоящего процесса, можно предположить, что свободный газ по образовавшимся каналам мигрирует в зоны с меньшим горным давлением (рис.3). Газ, вытесненный за пределы зоны ПГД по угольному пласту, накапливаясь, будет оказывать существенное давление на

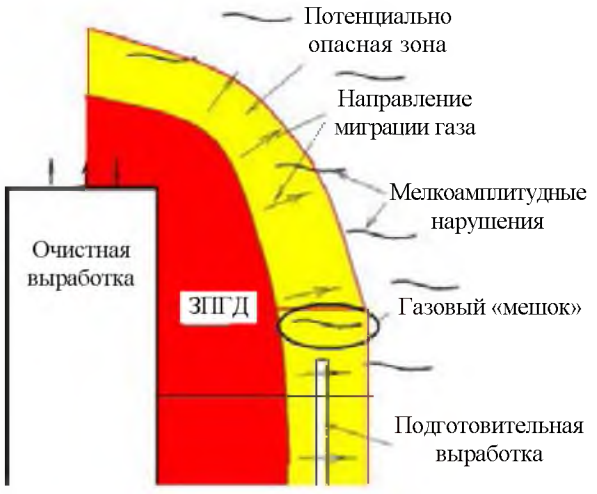


Рис.3. Схема формирования у очистной выработки в плоскости угольного пласта зон повышенного горного давления (ЗПГД) и потенциально опасных по газовому фактору

стенки каналов. За счет разрушения межтрещинных перемычек или вследствие фильтрации сеть каналов будет расширяться до некоторого предела, ограниченного соотношением давления газа к прочности угля (межтрещинного или межпорового пространства). В результате за пределами зоны ПГД формируются газонасыщенные зоны. Они представляют собой «газовые мешки», и при ведении горных работ необходимо выполнение дополнительных мер по дегазации этих зон. Применительно к рассматриваемой тематике эти зоны, показанные желтым цветом на рис.3, являются благоприятными для извлечения газа.

Таким образом, особая опасность возникновения внезапных выбросов угля и газа существует не только в зоне ПГД (на рис.3 зона ПГД, скорректированная с учетом размера лавы, показана красным цветом), но и в потенциально опасной зоне (выделена желтым цветом), которая, по предварительным расчетам, имеет размер не менее половины ширины зоны опорного давления.

При разработке выбросоопасных угольных пластов учет зон повышенного пластового давления весьма эффективен для проведения именно в них дегазации, которую можно выполнить либо с поверхности, либо из горных выработок.

Представленная методика моделирования была использована при решении различных задач геомеханики и может быть эффективной для предрасчета сдвижений земной поверхности при промышленной газодобыче из угольных пластов, а также при традиционной разработке пластов с целью предотвращения динамических явлений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гурьянов В.В.* Обоснование перспективных способов извлечения метана из угольных месторождений на основе техногенного регулирования геомеханического состояния углепородного массива / В.В.Гурьянов, В.А.Трофимов, М.Г.Мустафин // Геомеханические и геодинамические аспекты повышения эффективности добычи шахтного и угольного метана / ОАО «ВНИМИ». СПб, 2007. С.66-75.

2. *Зуев Б.Ю.* Применение методов физического и имитационного (компьютерного) моделирования для решения задач управления геомеханическим состоянием массива при добыче метана из неразгруженных пластов / Б.Ю.Зуев, М.Г.Мустафин // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2002. № 6. С.75-78.

3. Инструкция по безопасному ведению горных работ на пластах, опасных по внезапным выбросам угля (породы) и газа (РД 05-350-00) / Госгортехнадзор России. М., 2004. 215 с.

4. *Мустафин М.Г.* Геомеханическая модель системы «выработка – вмещающие породы» и ее использование при прогнозировании динамических проявлений горного давления // Горная геомеханика и маркшейдерское дело / ВНИМИ. СПб, 1999. С.13-18.

5. *Мустафин М.Г.* Формирование техногенных выбросоопасных зон в угольных пластах // Записки Горного института. 2013. Т.204. С.62-65.

REFERENCES

1. *Guryanov V.V., Trofimov V.A., Mustafin M.G.* Obosnovanie perspektivnih sposobov izvlecheniya metana iz ugolnih mestorojdenii na osnove tehnogennogo regulirovaniya geomehanicheskogo sostoyaniya ugleporodnogo massiva (*Justification for promising ways of methane extraction from coal deposits on the basis of man-made regulation of geomechanical condition in a rock mass*). Geomekhanicheskie i geodinamicheskie aspekty povysheniya effektivnosti dobychi shakhtnogo i ugol'nogo metana. OAO «VNIMI». St Petersburg, 2007, p.66-75.

2. *Zuev B.Yu., Mustafin M.G.* Primenenie metodov fizicheskogo i imitatsionnogo (komp'yuternogo) modelirovaniya dlya resheniya zadach upravleniya geomekhanicheskim sostoyaniem massiva pri dobyche metana iz nerazgruzhennykh plastov (*Physical and simulation (computer) modeling application for solving control problems with the geomechanical condition of an array during methane extraction from seams unloaded*) Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'. 2002. N 6, p.75-78.

3. Instruktsiya po bezopasnomu vedeniyu gornykh rabot na plastakh, opasnykh po vnezapnym vybrosam uglya (porody) i gaza (RD 05-350-00) (*Instructions on safe mining in seams, dangerous on rock burst from coal (rock) and gas (RD 05-350-00)*).Gosgortexnadzor Russii. Moscow, 2004, p.215.

4. *Mustafin M.G.* Geomekhanicheskaya model' sistemy «vyrabotka – vmeshchayushchie porody» i ee ispol'zovanie pri prognozirovanii dinamicheskikh proyavlenii gornogo davleniya (*Geomechanical model of «development – host rock» and its use in predicting the dynamic manifestations of rock pressure*). Gornaya geomekhanika i marksheiderskoe delo. VNIMI. St Petersburg, 1999, p.13-18.

5. *Mustafin M.G.* Formirovanie tekhnogennykh vybrosoopasnykh zon v ugol'nykh plastakh (*Formation of technological outburst zones in coal seams*). Zapiski Gornogo instituta. 2013. Vol.204, p.62-65.

MODELING OF ROCK MASSIF GEOMECHANICAL STATE AT GAS EXTRACTION FROM COAL SEAMS

M.G.MUSTAFIN, *Dr. of Engineering Sciences, Head of Department, mustafin_m@mail.ru. National Mineral Resources University (Mining University), St Petersburg, Russia*

The article describes the method of modeling a coal seam stress-strain state and an enclosing rock massif when degasified. An approach to defining the model input parameters, calculated with the porosity and gas pore pressure coefficient, was shown. The importance of preliminary calculations, indicating possible coal seam shrinkage and surface subsidence was underlined. It shows formation mechanism for coal seam zones with elevated gas pressure, where gas recovery is efficient.

***Key words*:** coal seam, rock mass, the stress-strain state of the rocks, well degassing, high rock pressure zone, coal seam gas pressure.