

УДК 622.324.5

Шевцов Александр Григорьевич, студент VI курса, группа ФПс-111
(КузГТУ, г. Кемерово)

Баёв Михаил Алексеевич, старший преподаватель каф. ТиГМ
(КузГТУ, г. Кемерово)

Хямяляйнен Вениамин Анатольевич, д.т.н., проф., зав. каф. ТиГМ
(КузГТУ, г. Кемерово)

Shevtsov Alexander G., student of course VI, group FPs-111
(KuzSTU, Kemerovo)

Bayov Mikhail A., senior lecturer, chair of TiGM
(KuzSTU, Kemerovo)

Huamalyainen Veniamin A., d.eng.sc., prof., head. chair of TiGM
(KuzSTU, Kemerovo)

РОЛЬ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ДОБЫЧЕ МЕТАНА ИЗ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

ROLE OF GEOMECHANICAL MODELING OF MASSIF OF ROCKS DURING PRODUCTION OF METHANE FROM COAL SEAMS

Аннотация

Описаны предпосылки необходимости использования геомеханического моделирования массива горных пород при добыче метана угольных пластов. Перечислен ряд задач, решаемых с помощью построения геомеханических моделей и особенности влияния напряженно-деформированного состояния на физические процессы при добыче метана угольных пластов. Рассматриваются виды геомеханических моделей, и методы расчета численных моделей и необходимое программное обеспечение. Приведены результаты построения геомеханической модели массива горных пород в программном комплексе ЛИРА-САПР 2013.

Abstract

Prerequisites for the need for geomechanical modeling of massif of rocks during coalbed methane production are described. A number of problems to be solved by creating of a geomechanical models as well as aspects of effect of the stress-strain behavior on physical processes during coalbed methane production are listed. Types of geomechanical models as well as methods for calculation of computational models and necessary software are considered. The results of geomechanical model development for massif of rocks with the use of software package LIRA-CAD 2013 are shown.

В течение длительного периода геологического времени горные породы, залегающие в земной коре, подвергаются действию множества природных сил и факторов. В результате этих воздействий в массивах горных пород устанавливается естественное напряженно-деформированное состояние (НДС). При проектировании наземных и подземных сооружений очень важным является обеспечение их устойчивости, в связи с чем в мировой практике исследование прогнозируемых напряжений и вызываемых ими деформаций в результате техногенного воздействия уже является неотъемлемой частью планов строительства как гражданских и промышленных объектов, так и горнодобывающих, в т. ч. нефтяных и газовых скважин. Особенно актуальными исследования НДС массива горных пород становятся при освоении месторождений нетрадиционных ресурсов, отличающихся низкой проницаемостью и чувствительностью матрицы к напряжениям [1].

В рамках данной статьи рассмотрим, какую роль играет знание поля напряжений в массиве при добыче газа из таких нетрадиционных коллекторов, как угольные пласты.

Несомненно, одной из актуальных задач при добыче метана из угольных пластов является обеспечение устойчивости ствола скважины. Знание распределения напряжений в массиве позволяет выбрать оптимальное место заложения скважины во избежание проблем с обвалами стенок в зонах слабых пород, снизить вероятность возникновения прихватов, потерь бурового инструмента и смятия обсадной колонны. Также в процессе бурения имеет место образование трещин под действием давления бурового раствора. Знание этих особенностей позволяет во многих случаях решить проблему устойчивости ствола скважины и повысить качество последующего цементирования. В том числе и при строительстве скважин с горизонтальным окончанием ствола.

Знание НДС массива помогает в обосновании режима бурения скважин. Как известно, существует два основных вида бурения: на репрессии и на депрессии. В первом случае существует проблема кольматации продуктивного пласта частицами глинистого бурового раствора, подаваемого в скважину через стан буровых труб. Во втором же случае происходит отбор жидкости из скважины, в результате чего решается проблема кольматации, но появляется риск необратимого уплотнения продуктивного пласта, т. к. давление вышележащей толщи, более не компенсируемое поровым давлением, начинает деформировать скелет породы, приводя к уменьшению пористости и проницаемости продуктивной зоны [2]. В связи с этим, без знания поля напряжений невозможен правильный выбор темпа и величины создаваемой депрессии.

Также это знание может помочь при оценке возможности применения такого метода повышения газоотдачи, как георыхление. Метод предложен академиком Христиановичем С.А. в 1988 г. для повышения нефте-

отдачи [3] и из-за своей физической сущности в некоторых литературных источниках упоминается как «гидроразрыв наоборот». На первом этапе реализации метода в пласте создаются концентраторы напряжений в виде перфорационных отверстий. На втором этапе производится снижение забойного давления до начала растрескивания продуктивного пласта. На третьем этапе необходимо поддержание давления на забое в течение некоторого времени с целью роста трещин вглубь пласта. На заключительном этапе забойное давление возвращают до эксплуатационных значений. При реализации данного метода необходимо поддержание депрессии на уровне, не допускающем необратимого уплотнения продуктивного пласта. Кроме того, необходима оценка объема образующегося угольного шлама, который, кольматируя образующиеся трещины, и вовсе может свести эффект от операции по интенсификации газоотдачи к нулю [4].

Метод гидроразрыва пласта (ГРП), как основной метод повышения газоотдачи метанугольных скважин, и вовсе напрямую связан с полем напряжений в массиве. При реализации данной технологии знание НДС позволяет выявить интервалы для проведения ГРП, контролировать рост трещин гидроразрыва в высоту и прогнозировать ориентацию создаваемых трещин, проводить оценку образующегося угольного шлама. Даже после проведения ГРП и на протяжении всего периода эксплуатации скважины, напряжения играют важную роль при добыче пластовых флюидов, оказывая влияние на фильтрационно-емкостные свойства коллектора. Доказано, что пористость и проницаемость горных пород уменьшаются с ростом действующих в массиве напряжений [5], и уголь тому не исключение.

Как показывает все вышесказанное, роль геомеханического моделирования массива горных пород при добыче метана из угольных пластов достаточно высока. Несмотря на это, необходимо подкрепление теории практикой. Для решения этой задачи необходимо построение геомеханических моделей массива горных пород. Сама модель может быть аналитической, численной либо физической в зависимости от способа обработки данных. Наиболее удобными в обращении являются численные модели, которые хоть и сложнее аналитических, зато, благодаря использованию компьютеров, не требуют больших затрат времени и денег, как физические. Ключевыми компонентами численных моделей являются: вертикальное (геостатическое) напряжение, минимальное горизонтальное напряжение, максимальное горизонтальное напряжение и его направление, поровое давление и механические свойства горных пород.

Среди существующих методов расчета НДС (конечно-элементный, конечно-разностный, гранично-элементный, дискретно-элементный и др.) стоит выделить метод конечных элементов (МКЭ) и метод конечных разностей (МКР), применяемые в большинстве современных программных комплексов для инженерных расчетов (FLAC, ANSYS, ЛИРА-САПР). При этом лидирующее положение занимает МКЭ благодаря возможности по-

строения геометрии любой сложности и степени детализации [6]. По этой причине он гораздо сложнее в реализации, но в связи с развитием современных компьютеров данный факт перестает быть проблемой. Более того, получение результатов, адекватно описывающих реальное распределение напряжений при моделировании угольных пластов с трещинами гидроразрыва (раскрытие которых составляет порядка нескольких миллиметров) невозможно без обеспечения должной степени детализации.

С целью обоснования использования результатов исследования НДС массива горных пород при проектировании операций гидроразрыва угольных пластов в Кузбассе, было проведено моделирование углепородного массива в программном комплексе ЛИРА-САПР 2013, реализующего расчет методом конечных элементов. На рис. 1 приведены результаты моделирования – картина распределения напряжений вокруг горизонтальной трещины ГРП в угольном пласте мощностью 2 м на глубине 200 м.

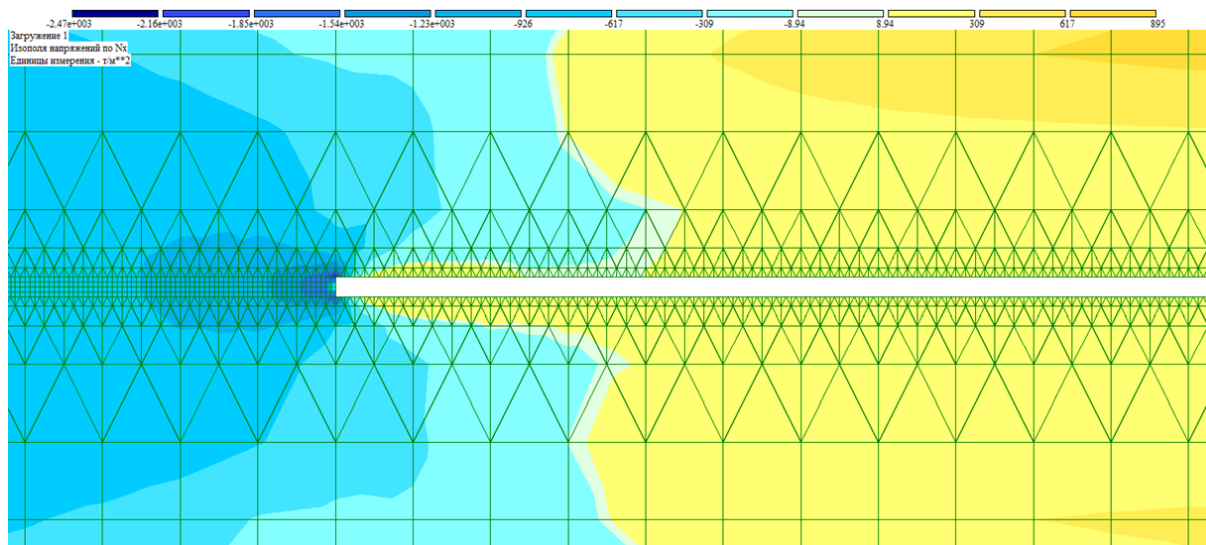


Рис. 1. Распределение напряжений вокруг горизонтальной трещины ГРП в угольном пласте мощностью 2 м на глубине 200 м.

В связи с тем, что разрабатываемые в настоящее время угольные пласты метаноугольных месторождений Кузбасса находятся на глубине до 1500 м, при проведении гидроразрыва на них могут образовываться не только горизонтальные, но и вертикальные трещины. Поэтому на следующем этапе необходимо выполнить геомеханическое моделирование вертикальных трещин ГРП. Что же касается используемого программного комплекса, стоит отметить, что ЛИРА-САПР 2013 преимущественно рассчитан на строительные расчеты и несмотря на наличие бесплатной лицензии, имеет ряд неудобств. Поэтому существует необходимость поиска замены данному программному комплексу.

В заключение хочется сказать следующее. Дальнейшая работа по обоснованию использования результатов исследования НДС массива горных пород при проектировании операций гидроразрыва угольных пластов

в Кузбассе может не только значительно повысить эффективность проведения операций по интенсификации газоотдачи, но и на практике показать эффективность использования геомеханических моделей массива горных пород при добыче метана из угольных пластов.

Список литературных источников

1. Soroush H. Discover a Career in Geomechanics // The Way Ahead. – 2013. – Vol. 9. – №3. – S. 15-17.
2. Акбар Али А.Х. Моделирование механических свойств геологической среды как средство расшифровки напряжений в горных породах // Нефтегазовое обозрение. – 2005. – Осень 2005. – Том 9. – №1. – С. 4-23.
3. Карев В.И., Коваленко Ю.Ф. Геомеханика нефтяных и газовых скважин // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. – 2011. – №4(2). – С. 448-450.
4. Coal Bed Methane: Principles and Practices / R.E. Rogers, M. Ramurthy, G. Rodvelt, M. Mullen. – Halliburton Co., 2007. – 504 p.
5. Желтов Ю.П. Механика нефтегазоносного пласта. – М.: Недра, 1975. – 216 с.
6. Сахно И.Г., Молодецкий А.В. Численное моделирование напряженно-деформированного состояния угля в неравнокомпонентном поле напряжений // Физико-технические проблемы горного производства. – 2014. – Вып. 17. – С. 68-75.