

УДК 620.1

**ПРОВЕДЕНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ КЕРНА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ  
ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ  
НА ПРИМЕРЕ РЕЧИЦКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

**Я. И. Юсупов<sup>1</sup>, Р. Е. Гутман<sup>2</sup>,**

<sup>1</sup>ООО «Литосфера», МГУ им. М. В. Ломоносова,  
г. Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup>РУП «Производственное объединение «Белоруснефть»  
БелНИПИнефть», г. Гомель

Проведение комплексных геомеханических исследований керна, прежде всего, необходимо для решения задач геомеханического моделирования, которое направлено на увеличение экономического эффекта от строительства скважин, снижение времени на бурение, оптимизацию программ ГРП и т. д. В качестве прикладных задач, решаемых интегрированным геомеханическим подходом, можно выделить подбор конструкции, оценку окна безопасной плотности бурового раствора, определение направления бурения и угла входа в продуктивный горизонт и т. д.

Упругие параметры характеризуют способность пород сопротивляться деформированию, т. е. определяют жесткость пород. В данной работе проводились эксперименты по определению основных упругих параметров – модуля Юнга ( $B$ ) и коэффициента Пуассона ( $\nu$ ). Прочность породы определяется величиной критических напряжений, при которых происходит ее разрушение. Критические напряжения различны для разных пород и разных видов приложенных нагрузок. Они носят название пределов прочности [6]. В данной работе проводились эксперименты по определению пределов прочности при одноосном и трехосном сжатии ( $\sigma_c$ ), одноосном растяжении ( $\sigma_t$ ).

Исследования проводились на установке для трехосного сжатия керна ПИК-УИДК/М производства ЗАО «Геологика». Установка содержит камеру для исследования прочностных свойств керна в пластовых условиях. Камера позволяет создавать трехосное сжатие керна с измерением деформаций (упругих модулей) керна прямым методом до разрушения горной породы осевой нагрузкой.

При проведении эксперимента по определению прочности при одноосном сжатии авторы руководствовались ГОСТ 28985–91 [5] и ASTM D2938–95 [1]. Сущность метода заключается в измерении максимального значения разрушающего давления, приложенного к плоским торцам цилиндрического образца. При одноосном сжатии цилиндрический образец породы нагружается в атмосферных условиях только осевым усилием при помощи гидравлического пресса до тех пор, пока не происходит разрушение. Момент разрушения определяется по графику «напряжение–деформация».

При проведении эксперимента по определению прочности при одноосном растяжении авторы руководствовались ГОСТ 21153.3–85 [3]. Определение прочности при одноосном растяжении ( $\sigma_t$ ) по бразильской методике заключается в измерении разрушающей силы в атмосферных условиях. Разрушающая сила прикладывается через стальные встречно-направленные плиты нагрузочного устройства к образующим образца на его диаметральной сечении.

Применительно к горным породам наибольшее распространение получила теория прочности, основанная на зависимости между касательными и нормальными на-

пряжениями в каждой точке тела, находящегося в сложнапряженном состоянии. При построении паспорта прочности, а также проведении эксперимента по определению угла внутреннего трения ( $\varphi$ ) и когезионной прочности ( $S_0$ ) авторы руководствовались ГОСТ 21153.8–88 [4] и ASTM D7012–14 [2]. Для определения угла внутреннего трения ( $\varphi$ ) и когезионной прочности ( $S_0$ ) необходимо в координатах нормального и тангенциального напряжений построить как минимум два круга Мора, соответствующих различным соотношениям главных напряжений в момент разрушения образца (одно главное напряжение соответствует обжимному, другое – осевому). Первый круг Мора характеризует разрушение образца при одноосном нагружении с атмосферным радиальным давлением:  $\sigma_1 = \sigma_{oc} = \sigma_0$ ;  $\sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_{рад} = 0,1$  МПа. Второй круг Мора характеризует разрушение при трехосном нагружении в термобарических условиях при фиксированном значении обжимного и порового давления. Согласно теории Мора, разрушение наступает тогда, когда касательные напряжения превысят определенное значение ( $\tau_1 f$ ), величина которого тем больше, чем больше нормальные напряжения, действующие на образец.

Для рациональной разработки нефтяных месторождений требуется комплексный подход, который включает в себя множество направлений, в том числе геомеханическое моделирование. Геомеханическое моделирование решает широкий спектр задач и может применяться на всех этапах разработки месторождений, начиная от разведки, заканчивая этапами консервирования месторождения. В данной работе на примере межсолевых отложений I–III пачки Речицкого месторождения будут рассмотрены некоторые задачи, решить которые удалось, применяя геомеханическое моделирование.

Основной целью исследований в пределах I–III пачки является выявление наиболее перспективных интервалов для проведения ГРП, получение достоверных значений упруго-прочностных свойств пород, а также оценка напряженно-деформированного состояния горных пород, расчет величин главных напряжений и оценка направлений распространения главных осей тензора напряжения.

Для этих целей компанией «Белоруснефть» был проведен широкий комплекс специальных геофизических скважинных исследований с применением кроссдипольных акустических приборов, многоосного каверномера, микроимеджера, сейсмического мониторинга ГРП и др. Помимо этого научно-аналитическим центром имени В. И. Шпильмана был проведен большой комплекс лабораторных исследований на керне, включающий в себя геохимические, петрофизические и геомеханические исследования. Все результаты лабораторных и геофизических исследований в той или иной степени учитывались при построении модели.

По результатам 1D геомеханического моделирования были определены упруго-прочностные свойства горных пород динамическими методами, статические свойства оценивались на основании аналитических синтетических зависимостей, применяемых на аналогичных месторождениях, а также полученных по результатам керновых исследований I–III пачки. В связи с небольшим количеством скважин, в которых проводились геомеханические исследования, для более точного описания упруго-прочностных на месторождении, рекомендуется продолжить работы по исследованию керна. На основании данных кроссдипольного акустического каротажа, а также многоосного каверномера был сделан вывод о незначительной анизотропии напряжений пределах I–III пачки, что может быть вызвано различными факторами, начиная от влияния солей на распределение напряжений в пласте, заканчивая структурными особенностями горных пород. По результатам геофизических исследова-

ний были оценены величины главных напряжений и построены профили напряжений по исследуемым скважинам.

#### Литература

1. ASTM D2938–95. Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Intact Rock Core Specimens // ASTM International. – 2002.
2. ASTM D7012–14. Standard Test Methods for Compressive Strength and Elastic Moduli of Intact Rock Core Specimens under Varying States of Stress and Temperatures. // ASTM International. – 2017.
3. Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном растяжении : ГОСТ 21153.3–85. – М. : Госстандарт СССР, 1985.
4. Породы горные. Метод определения прочности при объемном сжатии : ГОСТ 21153.8–88. – М. : Госстандарт СССР, 1988.
5. Породы горные. Метод определения деформационных характеристик при одноосном сжатии : ГОСТ 28985–91. – М. : Изд-во стандартов, 1991.
6. Ржевский, В. В. Основы физики горных пород : учебник / В. В. Ржевский, Г. Я. Новик. – Изд. 7-е. – М. : ЛЕНАНД, 2014. – 368 с.