

Особенности геомеханических исследований керна для сопровождения дизайна гидроразрыва пласта

А.С. Кузнецов¹

¹Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть» в г. Перми

Адрес для связи: Aleksej.Kuznetsov@pnn.lukoil.com

Ключевые слова: геомеханические исследования, упруго-механические свойства, статический метод, многостадийные исследования, параметр Био, гидроразрыв пласта ГРП

Лабораторные геомеханические исследования позволяют определить такие параметры, как пределы прочности и упругости, деформационные, упругие и акустические модули и коэффициенты, параметры паспорта прочности (предельное сопротивление срезам и угол внутреннего трения). В настоящее время отсутствует единый документ, регламентирующий изучение геомеханических свойств керна. Исследования проводятся по внутренним методикам лабораторий или по устаревшим стандартам 80-х годов XX века, которые не охватывают полный комплекс необходимых исследований.

В статье рассмотрена разработка методических рекомендаций для лабораторных исследований керна нового материала. Рекомендации направлены на получение достоверных упруго-прочностных свойств, максимально полно описывающих исследуемый объект с минимально возможными временными и экспериментальными затратами. Даны рекомендации по отбору образцов керна: их количество, размер и ориентация относительно напластования. Представлен порядок выполнения исследований по определению параметров для построения паспорта прочности: определение предела прочности при одноосном растяжении, определение предела прочности при объемном сжатии с максимальным значением бокового обжима, определение предела прочности при объемном сжатии с полуторным значением максимального значения бокового обжима. Также даны рекомендации по определению упругих модулей при многостадийном сжатии, объемной сжимаемости, сжимаемости порового пространства, сжимаемости скелета и расчету параметра Био. Отдельно выделены исследования на полноразмерных образцах керна. Указаны сложности проведения испытаний. Кроме того, предложены формы представления итоговых данных.

Рассмотренные рекомендации, могут быть использованы для проведения исследований по определению упруго-механических свойств горных пород в лабораторных условиях для обеспечения дизайна гидроразрыва пласта, сопровождения строительства скважин и построения геомеханических моделей месторождения.

Одним из наиболее эффективных методов интенсификации притока пластового флюида к забою скважины является гидравлический разрыв пласта (ГРП). Данная технология занимает лидирующие позиции по количеству дополнительно добытой нефти. ГРП представляет собой физический метод воздействия на продуктивный пласт, заключающийся в создании высокопроводящей трещины, соединяющей продуктивную часть пласта со скважиной. Под действием избыточного давления, создаваемого закачкой в скважину жидкости разрыва горная порода разрывается по плоскостям минимальных напряжений. Получаемая в породе трещина обеспечивает связь с системой естественных трещин, не вскрытых скважиной, и зонами повышенной проницаемости. Эффективность применения ГРП зависит от множества факторов, одним из основных является качественный

дизайн ГРП, который невозможно представить без использования данных об упруго-прочностных свойствах горных пород.

Для получения достоверной информацией об упруго-прочностных свойствах объекта, на котором планируется проведение ГРП, необходимо выполнять лабораторные исследования на керновом материале. Лабораторные геомеханические исследования позволяют определить такие параметры, как пределы прочности и упругости, деформационные, упругие и акустические модули и коэффициенты, параметры паспорта прочности (предельного сопротивления срезу и угол внутреннего трения).

В настоящее время отсутствует единый документ, регламентирующий изучение геомеханических свойств керна. Исследования проводятся по внутренним методикам лабораторий или устаревшим ГОСТ 80-х годов XX века, которые не охватывают полный комплекс необходимых исследований и подходят больше для строительных материалов. Целью данной работы являлась разработка методических рекомендаций для лабораторных исследований кернового материала, направленных на получение достоверных упруго-прочностных свойств, максимально полно описывающих исследуемый объект с минимально возможными временными и экспериментальными затратами.

Для каждой исследуемой скважины необходимо отобрать группы образцов-дублеров, состоящих из стандартных и полноразмерного образцов керна. Для всех образцов соотношение диаметр : длина составляет 1:2.

Стандартные образцы отбираются из участка керновой колонки длиной не более 150 мм:

- один образец с ориентацией параллельно оси цилиндра относительно горизонтальной поверхности;
- два образца с ориентацией перпендикулярно оси цилиндра относительно горизонтальной поверхности;
- четыре образца, отобранные в продолжение образцов с ориентацией перпендикулярно оси цилиндра относительно горизонтальной поверхности.

Полноразмерный образец отбирается из интервала, ближайшего к месту отбора стандартных образцов.

Пример схемы отбора приведен на рис. 1.

Ограничение по общему количеству групп зависит от толщины отложений и достаточности получаемых данных. При формировании дополнительных групп рекомендуется отбирать 1 группу образцов из 2 м целевого интервала и 1 группу образцов из 5 м покрывающей и подстилающей пород.

Рекомендуются следующая схема проведения испытаний.

1. Четыре образца стандартного размера, отобранные в продолжение образцов с ориентацией перпендикулярно оси цилиндра относительно горизонтальной поверхности испытываются в режиме одноосного растяжения. Исследования вы-

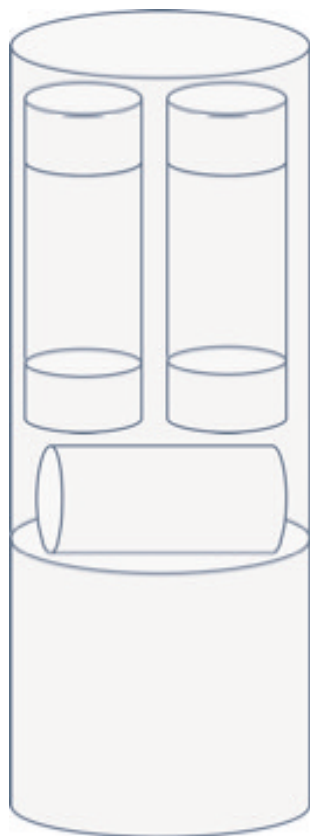


Рис. 1. Пример схемы отбора образцов для геомеханических исследований

полняются в атмосферных условиях. Определяется предел прочности на растяжение σ_r непрямым методом («Бразильский тест»).

2. Образец стандартного размера с ориентацией перпендикулярно оси цилиндра относительно горизонтальной поверхности испытывается в режиме одностадийного объемного сжатия с заданной величиной бокового обжима (150 % максимального значения). Максимальный боковой обжим равен максимальному эффективному давлению (разница горного и пластового давлений), соответствующего глубине отбора образца. Исследования выполняются в термобарических условиях. Определяются $\sigma_{осж}$, $\sigma_{упр}$, E_y , $E_{дин}$, ν_y , $\nu_{дин}$, $G_{стат}$, $G_{дин}$, $K_{стат}$, $K_{дин}$.

3. Образец стандартного размера с ориентацией перпендикулярно оси цилиндра относительно горизонтальной поверхности используется для определения объемной сжимаемости, сжимаемости порового пространства, сжимаемости скелета, расчета параметра Био. Далее образец испытывается в режиме одностадийного объемного сжатия с максимальным значением бокового обжима. Определяются $\sigma_{осж}$, $\sigma_{упр}$, E_y , $E_{дин}$, ν_y , $\nu_{дин}$, $G_{стат}$, $G_{дин}$, $K_{стат}$, $K_{дин}$.

4. Образец стандартного размера с ориентацией параллельно оси цилиндра относительно горизонтальной поверхности испытывается в режиме многостадийного объемного сжатия при величине бокового обжима, равной 75, 100 и 125 % максимального значения. Определяются $\sigma_{осж}$, $\sigma_{упр}$, E_y , $E_{дин}$, ν_y , $\nu_{дин}$, $G_{стат}$, $G_{дин}$, $K_{стат}$, $K_{дин}$.

5. Полноразмерный образец испытывается в режиме многостадийного объемного сжатия при величине бокового обжима, равной 75, 100 и 125 % максимального значения. Определяются $\sigma_{осж}$, $\sigma_{упр}$, E_y , $E_{дин}$, ν_y , $\nu_{дин}$, $G_{стат}$, $G_{дин}$, $K_{стат}$, $K_{дин}$. При этом испытания полноразмерного образца должны выполняться только после завершения исследования образцов стандартного размера с учетом его результатов.

Схема геомеханических исследований ядра для сопровождения дизайна ГРП представлена на рис. 2.



Рис. 2. Схема геомеханических исследований ядра для сопровождения дизайна ГРП

Полученный комплекс деформационных, акустических и прочностных свойств отобранного ядерного материала представляется в виде таблиц с указанием определяемых параметров. Результаты определения модулей, коэффициентов деформации и упругости образцов ядра оформляются также в виде зависимостей относительных осевых и радиальных деформаций от осевой нагрузки для уточнения параметров в случае необходимости. Также строятся зависимости параметров от глубины.

Отдельно следует отметить особенность проведения испытаний в режиме многостадийного объемного сжатия. При таких испытаниях образец ядра циклически нагружается и разгружается вертикальным давлением при различных боковых давлениях. Вертикальная нагрузка на всех стадиях за исключением последней увеличивается до достижения предела упругости (рис. 3).

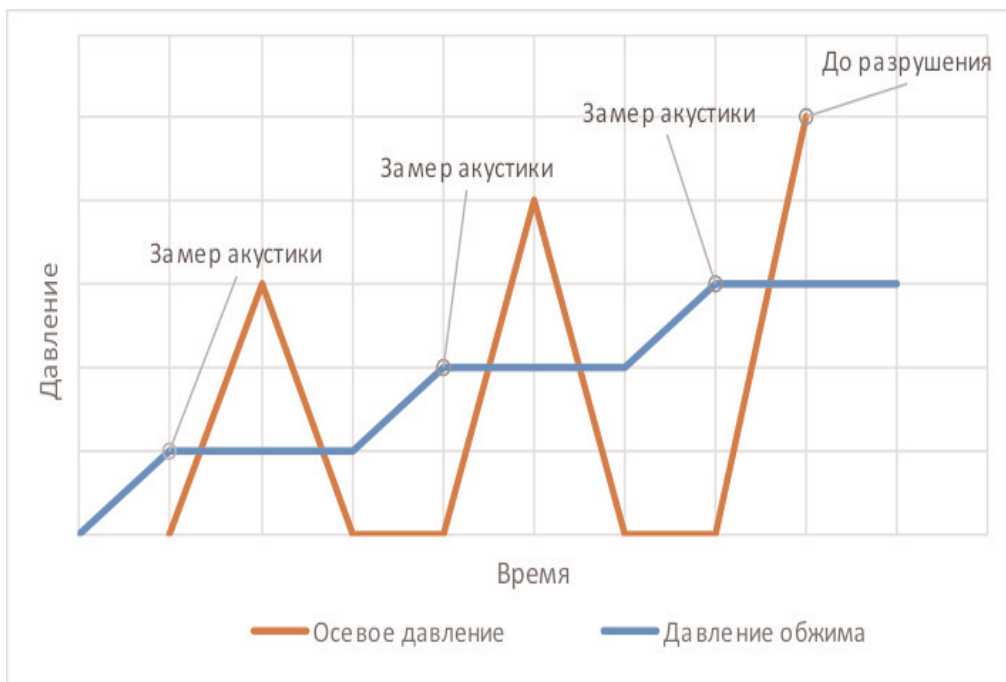


Рис. 3. Схема проведения многостадийного эксперимента

На рис. 4 приведен пример зависимости относительной деформации от осевого давления.

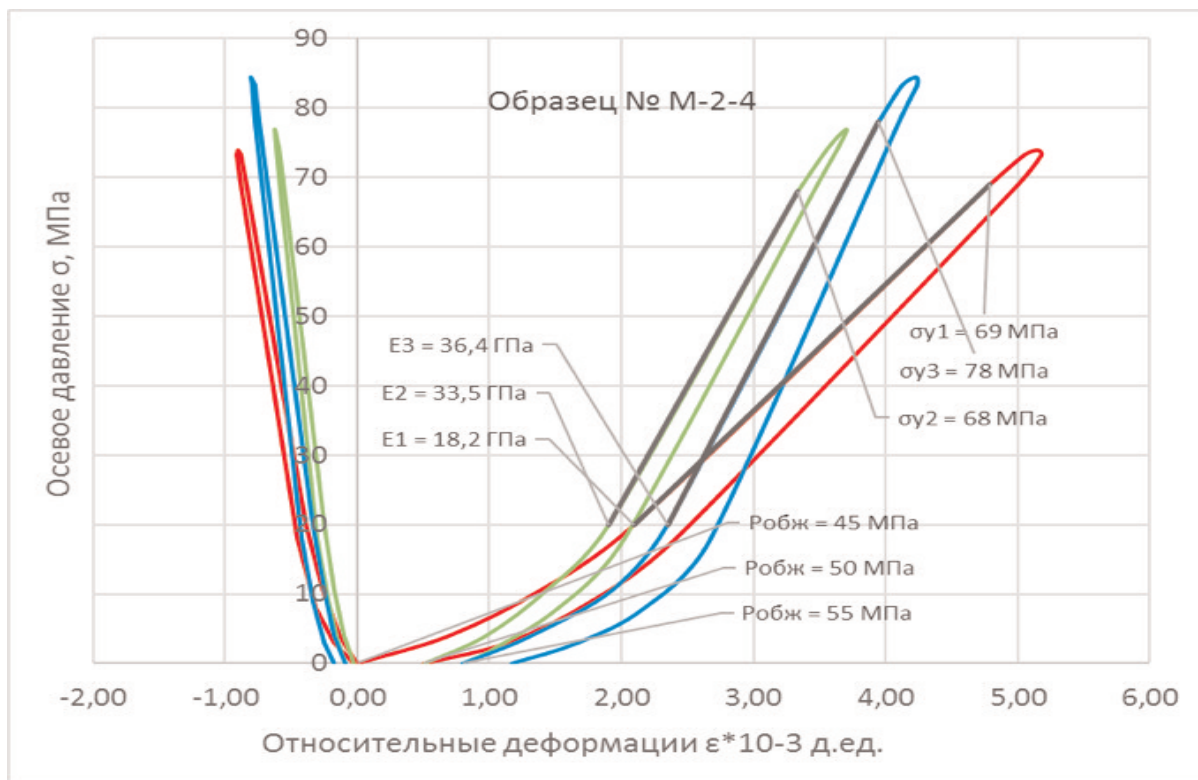


Рис. 4. Зависимости относительной деформации от осевого давления, полученные в результате проведения многостадийного исследования

Определение предела упругости при проведении испытаний на полноразмерных образцах в режиме многостадийного объемного сжатия является более сложной задачей, чем при испытании на образцах стандартного размера. Такое масштабное различие в определении предела упругости может объясняться особенностью измерения радиальной деформации, которая измеряется в пределах одного достаточно тонкого сечения по центру образца, и тем, что при испытаниях полноразмерных образцов структура образца является более неоднородной по сравнению с образцами стандартного размера. При этом разрушение полноразмерного образца может происходить в области, находящейся за пределами системы, измеряющей радиальную деформацию.

Несмотря на сложности, проведение испытаний полноразмерных образцов рекомендуется для оценки масштабных эффектов и корректной интерпретации упруго-прочностных характеристик, полученных на образцах стандартного размера.

Рассмотренные рекомендации могут быть использованы для проведения исследований по определению упруго-механических свойств горных пород в лабораторных условиях для обеспечения дизайна ГРП, сопровождения строительства скважин и построения геомеханических моделей месторождения.