

Согласно алгоритму (рис. 1), в 2021 г. проведен анализ 88 залежей на месторождениях Припятского прогиба. В результате выбраны две залежи для реализации МНЦВ: третий блок петриковско-елецкой залежи Березинского месторождения и семилукско-саргаевская залежь Зотухинского месторождения. Работы по МНЦВ были начаты 01.01.2022 г. На 01.08.2022 г. суммарная технологическая эффективность работ превысила 930 т нефти.

Л и т е р а т у р а

1. Способ разработки нефтяной залежи : пат. 037109 ЕА / Повжик П. П., Демяненко Н. А., Сердюков Д. В., Жук И. В., Мармылев И. Ю. – № 201900259/25 ; заявл. 16.04. 19 ; опубл. 08.02.21.
2. Кудряшов, А. А. О циклическом воздействии на семилукскую залежь восточного блока Тишковского месторождения / А. А. Кудряшов, Д. А. Примичев // Поиски и освоение нефтяных ресурсов Республики Беларусь : сб. науч. тр. – 2017. – № 9. – С. 88–99.
3. Обоснование и планирование технологии многоэтапного циклического нестационарного воздействия на пласт // Врем. регламент. – Гомель : Связынформсервис, 2020. – 43 с.

УДК 622.276.6

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОМЕХАНИКИ
НА ПРИМЕРЕ ОТЛОЖЕНИЙ I–III ПАЧКИ
РЕЧИЦКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

Р. Е. Гутман, В. Н. Шиленкова

*БелНИПИнефть РУП «Производственное объединение «Белоруснефть»,
г. Гомель*

Посвящена анализу и применению результатов тестов на утечку XLOT при проектировании разработки нетрадиционных коллекторов нефти.

Ключевые слова: горные породы, боковое напряжение, горное давление, тест на утечку, давление гидроразрыва.

**PRACTICAL USE OF GEOMECHANICS ON THE EXAMPLE
OF I–III SEDIMENTS OF RECHITSKOE OILFIELD**

R. Hutman, V. Shylenkova

BelNIPIneft RUE “Production Association “Belorusneft”, Gomel

The work is devoted to analysis of leak off test results and its implementation in development and exploitation of unconventional deposits

Keywords: rocks, lateral stresses, overburden stress, leak off test, breakdown pressure.

Успехи «сланцевой революции» в США, обусловленные развитием технологии бурения горизонтальных скважин с многостадийным гидравлическим разрывом пласта (ГРП) и снижением стоимости строительства, на фоне более чем 10-летнего периода высоких цен на нефть обусловили появление интереса к изучению строения и перспектив нефтеносности нефтематеринских и низкопроницаемых коллекторов в различных нефтегазоносных бассейнах. В пределах Припятского прогиба одним из таких перспективных объектов являются отложения I–III пачки межсолевого комплекса Речицкого месторождения.

Отложения I–III пачки преимущественно представлены карбонатными породами смешанного состава. Средняя пористость данных пород варьируется в пределах

7,3–12,6 %, в среднем составляет 11,9 %, только в подошве петриковского горизонта превышает 15 %. Поровое пространство занято углеводородом частично – в среднем 2,2 %, битумоидами – еще 1,4 %. Средняя проницаемость матрицы – 0,44 мд в петриковском горизонте и 1,04 мд – в елецком горизонте. Низкие фильтрационные свойства обусловлены структурой порового пространства, где более 80 % пор представляют собой субкапилляры.

Учитывая низкие фильтрационно-емкостные свойства матрицы горных пород I–III пачки, наиболее рациональным способом разработки этих отложений является бурение протяженных горизонтальных скважин и проведение в них многостадийных ГРП. Весомую роль в успешности проведения этих операций играют механические свойства и напряжения горных пород. Самым надежным способом получения информации о напряжениях является их непосредственный замер путем анализа давления смыкания трещины после ГРП или XLOT [1]. XLOT – это расширенный тест на утечку, проводимый во время бурения под обсадной колонной, позволяющий определять давление разрыва стенки скважины и минимальное горизонтальное напряжение. С физической точки зрения операции ГРП и XLOT не отличаются друг от друга. Однако с технологической точки зрения они имеют следующие значительные отличия: низкий расход и объем закачки жидкости, высокая точность локации трещины, интервал проведения, как правило, неколлектор [2].

На скважине 381 Речицкого месторождения выполнены две операции XLOT в пределах елецкого горизонта (D3el) и кустовнических слоев евлановского горизонта (D3ev(kst)). Рассмотрим операцию XLOT, проведенную в интервале D3ev(kst) на глубине TVD 2610 м. На рис. 1 отчетливо интерпретируется давление гидроразрыва стенки скважины в виде скачка давления при нагнетании на первом цикле, на втором цикле данный скачок давления отсутствует, что говорит о наличии трещины в рассматриваемом интервале. Градиент разрыва стенки скважины (FBP) составил $2,808 \text{ г/см}^3$, а закрытие трещины (FCP) – $2,027 \text{ г/см}^3$, что равно давлениям 71,91 и 51,91 МПа соответственно.



Рис. 1. График проведения двух циклов XLOT по скважине 381 в интервале D3ev(kst)

Аналогичный тест XLOT был проведен в интервалах межсолевых отложений D3el на глубине TVD 1907 м. На рис. 2 представлен график давления при проведении двух циклов закачки. Можно заметить, что графики на рис. 1 и 2 полностью идентичны, за исключением первой стадии закачки жидкости. При достижении давления, равного 40,5 МПа, произошла резкая утечка жидкости (FBP), которая не сопровождалась выраженным разрывом стенки скважины. Закрытие «трещины» произошло при давлении 36,81 МПа. В пересчете на градиенты давлений

LOP – 1,898 г/см³; FPP – 2,165 г/см³; FCP – 1,967 г/см³ соответственно. На рис. 2 на первой стадии закачки жидкости отсутствует ярко выраженный скачок давления, характерный для разрыва стенки, как при разрыве толстостенного цилиндра.

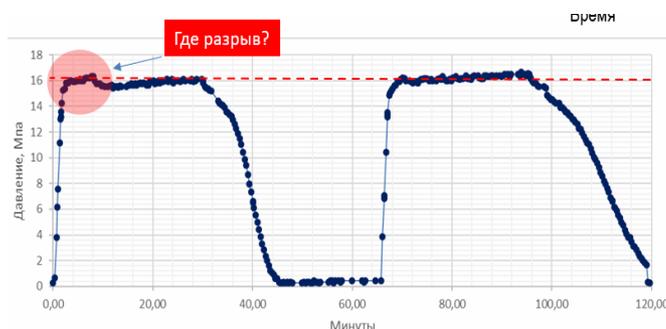


Рис. 2. График проведения XLOT по скважине 381 в интервале D3el

Исходя из физической сущности рассматриваемого процесса, причинами отсутствия скачка давления, характеризующего разрыв, могут быть:

- негерметичность крепи скважины, подземного или наземного оборудования;
- наличие достаточной проницаемости породы;
- присутствие проводящих трещин сдвигового или разрывного характера;
- давление разрыва стенки скважины ниже минимального бокового напряжения.

Для более полного понимания причин отсутствия скачка давления, характеризующего разрыв стенки скважины, было проведено моделирование с использованием расчетного модуля, разработанного авторами статьи, в основе которого лежит методика Кирша [3, 4]. Так как исходные данные достоверно неизвестны, то для расчета давления разрыва стенки скважины был применен вероятностный метод расчета, реализованный с помощью метода Монте-Карло. Неопределенность входных параметров подчиняется закону распределения Гаусса. По итогам расчетов были получены вероятностные модели величины давления разрыва стенки скважины, результаты которых сравнивались с фактическим давлением гидроразрыва при XLOT (рис. 3).

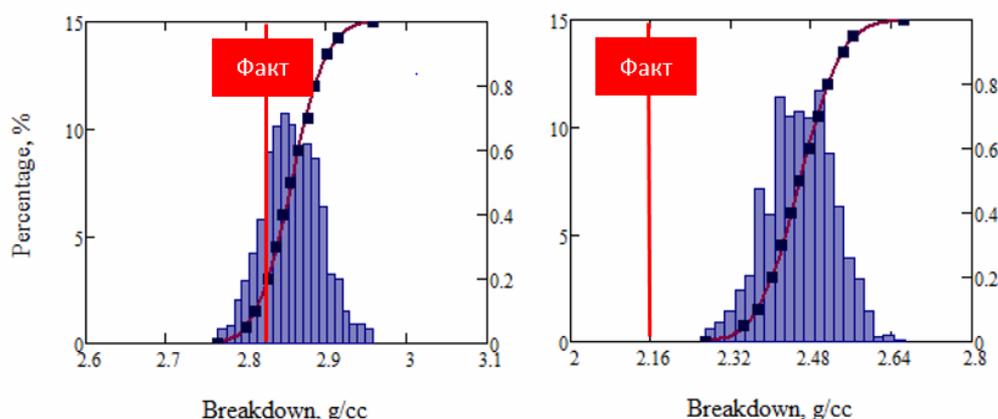


Рис. 3. Результаты вероятностного моделирования давления гидроразрыва стенки скважины при проведении XLOT

в интервалах D3ev(kst) – слева; D3el – справа

Фактические результаты разрыва в интервале D3ev(kst) близки к значению P30, равному $2,81 \text{ г/см}^3$, наиболее вероятное значение давления разрыва P50 – $2,83 \text{ г/см}^3$. В то же время давление разрыва в D3el, равное $2,16 \text{ г/см}^3$, значительно ниже ожидаемого давления P50 – $2,46 \text{ г/см}^3$, полученного по результатам расчетов вероятностной модели. Отсюда может быть сделан вывод, что механизм разрыва стенки скважины 381 в интервалах I–III пачки не соответствует механизму разрыва толсто-стенного цилиндра, а, вероятнее всего, связан с наличием естественных трещин.

Чтобы проверить данное предположение, было выполнено моделирование с целью определения пространственного расположения плоскостей, при котором могла произойти утечка жидкости в пласт при фактическом давлении 40,5 МПа. Для учета неопределенности исходных параметров, а также расчета всех возможных вариантов пространственного расположения плоскостей утечки снова был использован метод Монте-Карло (рис. 4).

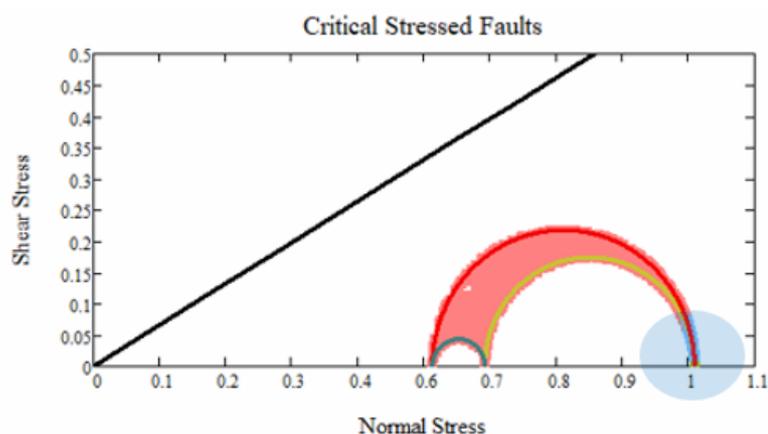


Рис. 4. Определение пространственного расположения плоскостей утечки жидкости в пласт

Из всех возможных вариантов расположения плоскостей поглощения при фактическом забойном давлении (по данным XLOT) начинают поглощать только трещины с азимутом от 0 до 360° и углом падения – от 0 до 10° , т. е. практически горизонтальные трещины. Полученные результаты могут быть важны в понимании процессов формирования трещин ГРП, а также при проектировании процессов разработки рассматриваемого объекта.

Литература

1. Zoback, M. D. Reservoir Geomechanics / M. D. Zoback // Cambridge : Cambridge University Press, 2007. – 505 p.
2. Raaen, A. M. Pump in/Flow back Tests reduce the Estimate of Horizontal in-situ Stress Regime Significantly / A. M. Raaen, M. Brudy // SPE : was prepared for presentation at the 2001, New Orleans, Louisiana, 30 September–3 October 2001 / SPE ATCE. – New Orleans, 2001. – P. 71367.
3. Kirsch, G. Die Theorie der Elastizitat und die Bedürfnisse der Festigkeitslehre, Zeitschrift des Verlines Deutscher Ingenieure / G. Kirsch. – 1998. – 707 p.
4. Petroleum Related Rock Mechanics / E. Fjær [et al.]. – second ed. – Amsterdam : Elsevier, 2008. – 515 p.