

DOI: <https://doi.org/10.25689/NP.2020.1.161-170>

УДК 622.276.031.011.43

**СРАВНЕНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННО-ЕМКОСТНЫХ СВОЙСТВ
ПЛАСТА ПО ДАННЫМ ТЕСТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ КРИВОЙ
ПАДЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ ПРИ ГИДРАВЛИЧЕСКОМ РАЗРЫВЕ
ПЛАСТА И КРИВОЙ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ**

Гильфанов Э.Ф.

Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть» в г. Тюмени

**COMPARISON OF RESERVOIR PROPERTIES BASED ON PRESSURE
DRAWDOWN AND PRESSURE BUILDUP TEST DATA OBTAINED
DURING HYDRAULIC FRACTURING**

E.F. Gilfanov

LUKOIL-Engineering Limited KogalymNIPIneft Branch Office in Tyumen

E-mail: GilfanovEF@tmn.lukoil.com

Аннотация. Рассматривается совместное использование результатов обработки данных тестов кривой падения давления (КПД) и кривой восстановления давления (КВД) при гидравлическом разрыве пласта (ГРП). Получена модель распределения проницаемости по фильтровой части горизонтального отдела ствола скважины. По билогарифмическим графикам определены прорывы трещины в ближние водоносные пласты, расположенные выше или ниже.

Ключевые слова: *Многостадийный ГРП, функция Нольте (G – функция), КВД, КПД, пластовое давление, коэффициент проницаемости.*

Abstract. The paper considers combined use of pressure drawdown and pressure buildup test data collected during hydraulic fracturing. A model of permeability distribution along the perforated interval of horizontal well section was obtained. Log-log plots were used to determine fracture propagation into overlying or underlying aquifers.

Key words: *multi-stage fracturing, Nolte function (G-function), pressure buildup curve, pressure drawdown curve, reservoir pressure, permeability index.*

Основным методом увеличения нефтеотдачи, рентабельной разработки и эксплуатации низкопроницаемых коллекторов является метод гидравлического разрыва пласта (ГРП) [1]. Для определения характеристик пласта, создания модели обработки, проведения ГРП перед основным тестом ГРП последовательно проводятся калибровочный тест, мини ГРП, нагнетательный тест и после, основной ГРП. Цель мини ГРП – первичная оценка коэффициента проницаемости на объектах до отработки и данных кривой восстановления давления (КВД).

Результаты, получаемые при оценке проницаемости и проводимости пласта, сопоставимы с результатами последующих исследований фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) пласта [2].

Достоверность расчётов существенно зависит от типа нагнетаемой смеси (вода или гель). В рассматриваемых примерах использовалась жидкость нагнетания, близкая по свойствам к воде.

Обработка графиков КВД, кривой падения давления (КПД) после тестов ГРП осуществлялась в программе Kappa Workstation (модуль Saphir).

Обработка КПД при производстве ГРП осуществляется G-функцией. Специальная G-функция, предложенная Нольте в 1980 году, используется для определения времени закрытия трещины. При этом предполагается, что изменение фильтрации по всей длине трещины на разных временных интервалах в процессе закачки отсутствует. Допускается постоянная геометрия трещины после закрытия, но она может быть изменена для неидеальных случаев.

В результате обработки данных G-функции определяются:

- коэффициент фильтрации и эффективность закачки жидкости ГРП;
- подтверждение неидеального поведения во время закачки;
- время закрытия трещины.

Для прогнозирования пластового давления, коэффициента проницаемости, расчёта оптимального давления разрыва при ГРП

проводится мини-ГРП. Далее после остановки закачки проводится тест КВД.

Данные по скважине 778Г, где проведён многозонный ГРП (МГРП) и через 3 месяца – КВД, приведены в табл. 1 и 2.

В скважине 778Г порты ГРП распределены по длине горизонтального участка скважины (Табл. 1) через 80-100 м.

Таблица 1

Расположение фрак-портов по длине горизонтального участка скважины (от забоя)

Номер порта по счету	Расположение по горизонтальному участку, м
1	3459,7-3460,9
2	3380,6-3381,8
3	3194,0-3195,0
4	3292,1-3293,4 (отказ от операции)

Коэффициент проницаемости пласта по исследованиям КВД при ГРП и КВД через 3 месяца эксплуатации отличается в 2 раза (Табл. 2).

Таблица 2

Результаты интерпретации

Стадия	Этап	Жидкость нагнетания	ГИС в процессе бурения	КВД 20.06.2011	КВД 20.09.2011
			Коэффициент проницаемости, 10^{-3} мкм ²		
1	Мини ГРП	Гель	5-25	0,51	10,9
	Нагнетательный			0,51	
	Основной			0,51	
3	Основной	На водной основе		5,7	
2	Основной	На водной основе		6,2	

Первый ГРП проведён на жидкости на основе сшитого геля, последующие – на жидкости на водной основе. При проведении основного ГРП (первый порт) произошёл прорыв трещины. Зафиксирован радиальный приток (Рис. 1, точка “а”).

Значения коэффициента проницаемости по КВД, полученные при остановке и после ГРП, сравнимы со значениями, полученными исследованиями КВД после двух месяцев отработки (Рис. 2, 3, табл. 2).

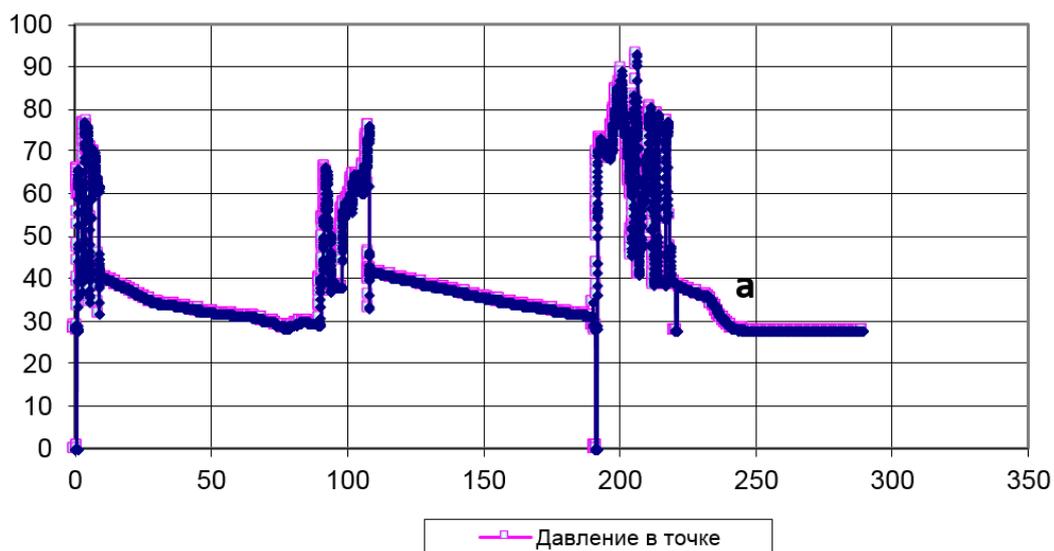


Рис. 1. График давления тестов ГПП, первый порт



Рис. 2. ГПП – второй порт. Тест КПД

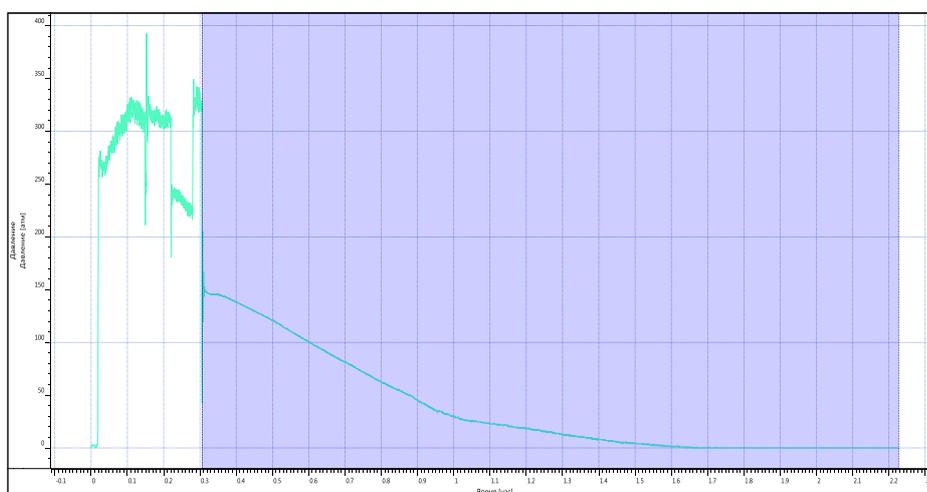


Рис. 3. ГПП – третий порт. Тест КПД

При обработке тестов специализированной G-функцией КПД первого порта (Рис. 4, 5) прослеживается характерный рост трещины.

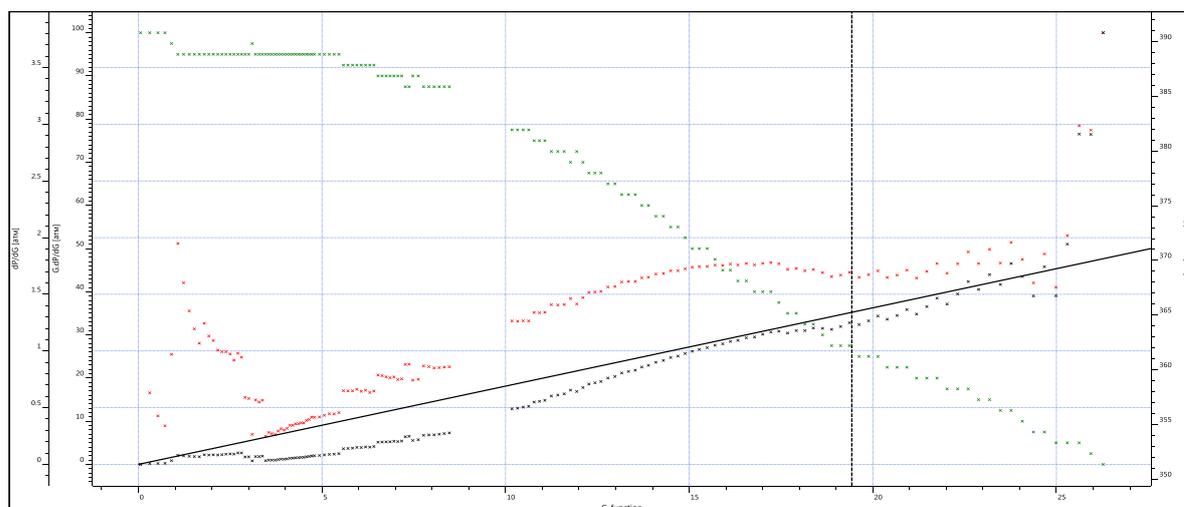


Рис. 4. График G-функции калибровочного теста ГРП в скважине 778Г

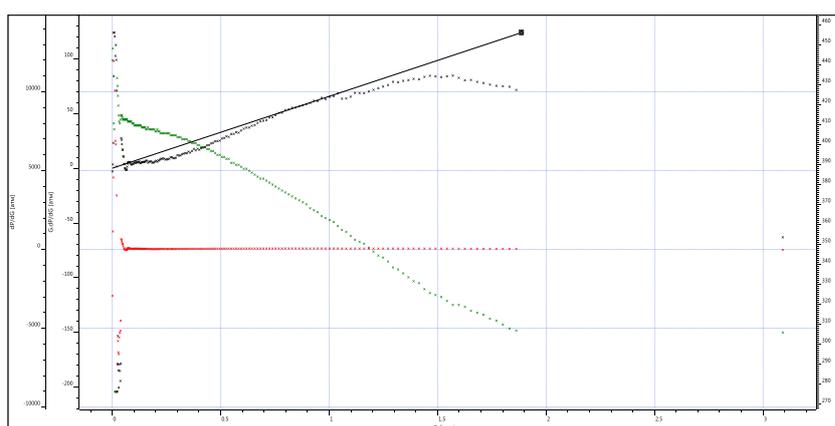


Рис. 5. График G-функции нагнетательного теста ГРП в скв. 778Г

При этом давление снижается равномерно. Предполагается, что стенки трещины однородны по составу и фильтрующей способности, утечка в пласт происходит постепенно.

В нагнетательном тесте после остановки насоса (Рис. 5) сохраняется рост трещины. Зависимость от утечек – нормальная.

На графике КПД (Рис. 6) после основного теста длина трещины уменьшается.

Распределение проницаемости по стволу соответственно фрак-портам МГРП представлено на рис. 7.

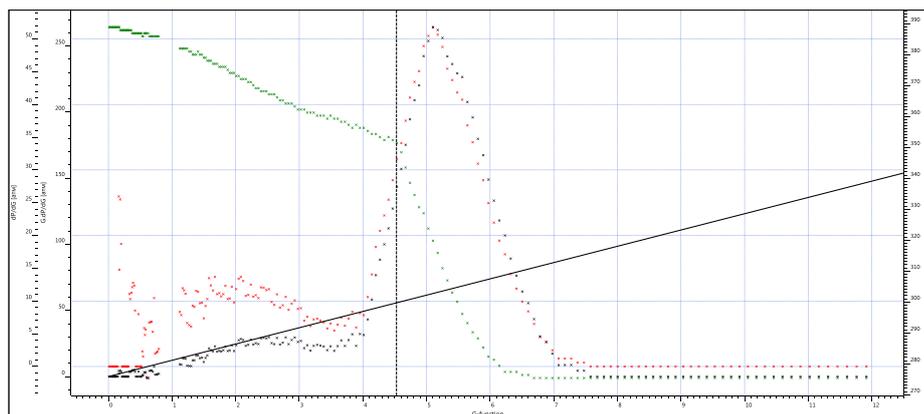


Рис. 6. График G–функции основного теста ГРП в скв. 778Г

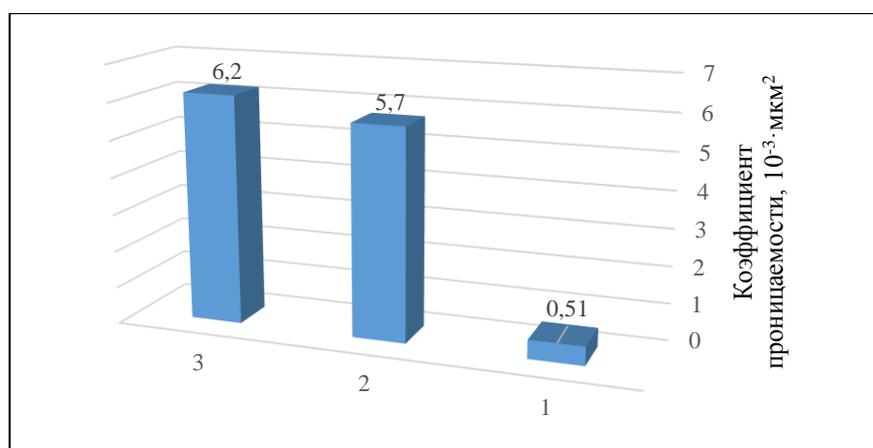


Рис. 7. Распределение проницаемости по стволу соответственно фрак-портам МГРП

Полученные данные коэффициентов проницаемости после обработки тестов КПД второго и третьего фрак-портов практически равны по значениям.

На диагностическом графике КВД (Рис. 8) также видно, что после радиального притока имеет место влияние границы постоянного давления, т.е. при ГРП произошёл прорыв в выше- или нижележащий пласты. Глинистая перемычка – 6-7 м. Геологический разрез приведён на рис. 9.

Данные геофизических исследований скважин в процессе бурения горизонтального участка скважины указывают на неоднородный по проницаемости коллектор (Рис. 10). Проницаемость увеличивается от начала участка фильтра с $5 \cdot 10^{-3}$ до $25 \cdot 10^{-3}$ мкм² в середине фильтра и в среднем составляет $15 \cdot 10^{-3}$ мкм².

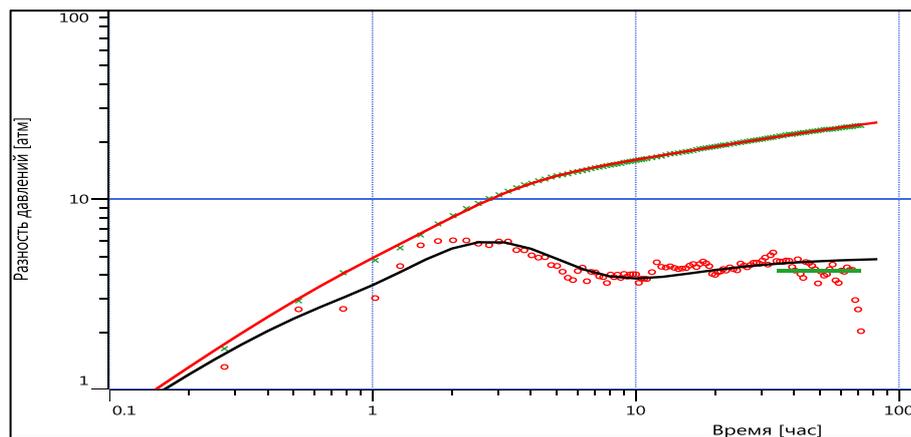
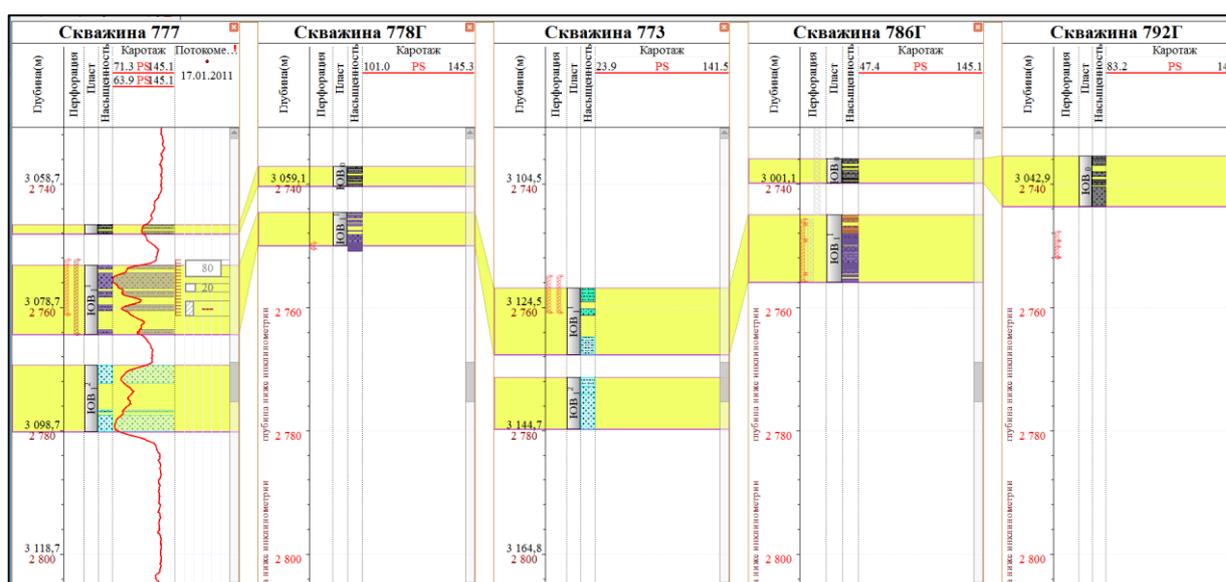


Рис. 8. Диагностический билогарифмический график КВД



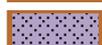
-  Нефтенасыщенный коллектор
-  Водонасыщенный коллектор
-  Водонефтенасыщенный коллектор

Рис. 9. Геологический разрез по ГИС (скв. 778Е (пилотная), 777, 782)

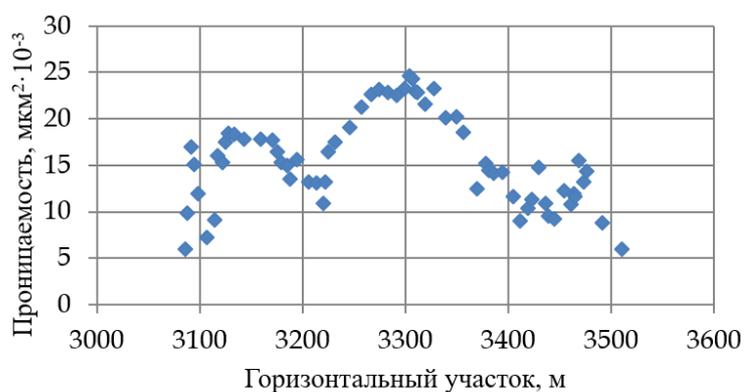


Рис. 10. Распределение проницаемости по горизонтальному участку по данным ГИС в скважине 778Г

Значения коэффициента проницаемости составили:

- по ГИС – в среднем $15 \cdot 10^{-3}$ мкм² (в начале горизонтального участка - $6 \cdot 10^{-3}$ мкм²);
- при тесте КПД – $5,7 \cdot 10^{-3}$ мкм²;
- при интерпретации КВД – $10,9 \cdot 10^{-3}$ мкм².

Следовательно, значения коэффициента проницаемости, полученные в разных условиях, отличаются незначительно.

Выводы

Разница в проницаемости, по мнению автора, обусловлена рядом причин. При проведении ГРП на пласт действует значительная репрессия. Из-за повторной нагрузки при нескольких стадиях ГРП происходит перераспределение частиц, т.н. «встряска», переуплотнение зёрен, изменяющее фильтрационные свойства коллектора. Образуется так называемое наведённое поле напряжений и сеть новых трещин. При разработке и эксплуатации на залежь действуют два противоположных по знаку напряжения растяжения и сжатия в зависимости от изменения пластового давления. При пуске скважины в эксплуатацию после ГРП пропорционально времени эксплуатации растут размеры областей, дренируемых трещинами. То есть, если исследование проведено через значительное время после проведения ГРП и запуска в эксплуатацию, параметры трещин и матрицы породы меняются. Необходимо привлекать получаемые величины коэффициента проницаемости, гидропроводности и т.д. при сходных реологических свойствах жидкости нагнетания и обводнённой продукции при освоении.

В низкопроницаемых коллекторах оценка коэффициента проницаемости часто затруднительна из-за значительного времени остановки на исследование. Коэффициент проницаемости, рассчитанный по

специализированным графикам теста КПД в программе Каппа 5.0, можно использовать для первичной оценки фильтрационных свойств пласта при достижении радиального притока в пласте (до отработки) и для прогнозирования длительности КВД.

Список литературы

1. Joshi S.D. Основы технологии горизонтальной скважины / Пер. с англ. и науч.-техн. ред. Будников В.Ф. [и др.]. – Краснодар: Советская Кубань, 2003. – 422 с.
2. Mayerhofer M., Economides M. Field cases for Permeability Determination from Minifrac // SPE-26999-PA [One Petro]. – Режим доступа: <https://doi.org/10.2118/26999-PA> (дата обращения 10.04.2019).

References

1. Joshi S.D. Osnovy tekhnologii gorizontal'noy skvazhiny [Horizontal well technology]. Krasnodar: Sovetskaya Kuban' Publ., 2003, 422 p. (in Russian)
2. Mayerhofer M., Economides M. Field cases for Permeability Determination from Minifrac // SPE-26999-PA [One Petro]. – Available at: <https://doi.org/10.2118/26999-PA> (in English)

Сведения об авторах

Гильфанов Эдуард Фуатович, главный специалист, Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть» в г. Тюмени, Тюмень, Российская Федерация
E-mail: GilfanovEF@tmn.lukoil.com

Authors

E.F. Gilfanov, Head Specialist, LUKOIL-Engineering Limited KogalymNIPIneft Branch Office in Tyumen, Tyumen, Russian Federation
E-mail: GilfanovEF@tmn.lukoil.com

Гильфанов Эдуард Фуатович
625000, Российская Федерация, Тюменская область
г. Тюмень, ул. Республики, д. 41
Тел.:8 (8432) 545 069
E-mail: GilfanovEF@tmn.lukoil.com