

DOI 10.25689/NP.2018.2.110-121

УДК 622.276.66

3D ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДЕБИТА СКВАЖИНЫ ПОСЛЕ ПРОВЕДЕНИЯ ОПЕРАЦИИ ГРП

Радченко Ю.А.

РУП ПО "Белоруснефть", БелНИПИнефть

3D VISUALIZATION OF POST-FRACTURING WELL PRODUCTION PERFORMANCE PREDICTION

Radchenko Yu.A.

Republic Unitary Enterprise Production Association Belorusneft, BelNIPIneft

E-mail: Yli_ua@bk.ru

Аннотация.

Цель исследования:

- выдвижение, теоретическое и экспериментальное обоснование гипотезы о морфологии процесса гидравлического разрыва пласта в карбонатном коллекторе;
- разработка математической модели прогнозирования дебита скважин после проведения в них операции ГРП;
- разработка гидродинамического 3D симулятора процесса гидроразрыва на базе разработанной математической модели.

Актуальность исследования:

Отсутствие автономных методик и автоматизированных систем прогнозирования эффективности операций ГРП в карбонатных коллекторах, отсутствие возможности контроля развития геометрии процесса, обусловленное высокой степенью неопределённости строения, влекут за собой критическую погрешность прогнозных расчетов, в связи с

чем, остро стоит вопрос о разработке методики качественной оценки эффективности и рисков проведения ГРП.

Критерии новизны:

Настоящая разработка относится к системе и способу прогнозирования дебита скважины после проведения на ней гидроразрыва пласта и представляет собой:

- фундаментальную гипотезу морфологии процесса гидравлического разрыва пласта;
- математическую модель, оперирующую исходной базой данных, конечным этапом которой является вычисление дебита скважины после проведенной операции;
- программный симулятор процесса, предназначенный для визуализации и расчета конечного результата воздействия.

Практическая ценность:

Осуществление настоящей разработки обеспечивает прогнозирование дебита скважины после проведения на ней гидроразрыва пласта, повышение точности прогнозных расчетов при максимальной стабильности результатов.

Ключевые слова: гидроразрыв пласта (ГРП); трещина гидроразрыва; системы прогнозирования эффекта гидроразрыва; алгоритм расчета; математическая модель; морфология процесса; моделирование процесса; практическое применение; гидродинамика процесса; эффективность технологии; проблематика ГРП

Abstract.

Research goal:

- statement, theoretical and experimental justification of hypothesis on hydraulic fracturing process morphology in carbonate reservoirs;
- development of a mathematical model for prediction of post-fracturing performance of hydraulically fractured wells;

- designing a 3D hydraulic fracturing simulator based on the developed mathematical model.

Problem statement:

Deficiency of individual methods and computer-aided systems for prediction of hydraulic fracturing efficiency in carbonate reservoirs, lack of control over fracture pattern geometry development, related to high degree of structure uncertainty, result in critical production forecast errors; thus necessitating development of methods for proper evaluation of fracturing performance and associated risks.

Scientific novelty:

The present research effort relates to the system and method for prediction of well production rates after hydraulic fracturing treatments and involves:

- fundamental hypothesis on hydraulic fracturing process morphology;
- mathematical model relying on initial database, with final stage to be the estimation of post-fracturing well production rate;
- hydraulic fracturing simulator designed for visualization and estimation of ultimate production due to fracturing.

Practical importance:

Once completed, the intended research efforts will provide means for prediction of post-fracturing production performance of wells and will improve the accuracy of forecast production estimates at high consistency of resultant values.

Key words: *reservoir simulation modeling, fracture network, hydraulic fracturing, production rate*

В настоящее время общепринятой является теория представления схемы скважины, содержащей единичную трещину эллипсоидной формы, получаемую в результате проведения операции ГРП. Согласно данной теории, длина трещины выражает ее фактическую полудлину (крыло

трещины), в связи с предположением о существовании зеркального отображения трещины с противоположной стороны ствола скважины.

Проблематика данного подхода состоит в отсутствии учета влияния естественных характеристик пласта при проектировании эффекта ОПР, что влечет за собой фатальную погрешность прогнозирования результирующих дебитов скважин, эксплуатирующихся в условиях карбонатных коллекторов.

Модель определения трещины гидроразрыва, предлагаемая автором, основана на гипотезе о представлении схемы скважины, содержащей разветвленную трещиноватую структуру, образованную в процессе слияния трещины гидроразрыва с естественной трещиноватостью породы.

В целях подтверждения выдвинутой гипотезы был проведен ряд экспериментов, включающих:

- гидродинамическое 3D моделирование операции;
- лабораторные испытания на керне;
- промысловые испытания;
- математическое моделирование результата, с использованием разработанной автором методики.

Гидродинамическое моделирование операции осуществлялось посредством использования гидродинамического 3D симулятора Eclipse. Задача эксперимента состояла в оценке эффективности расчета, производимого с использованием:

- модели одинарной трещины гидроразрыва – методика определения одиночной трещины разрыва правильной формы;
- модели трещины, имеющей разветвленный характер – модель, предлагаемая к использованию автором.

Для проведения эксперимента созданы тестовые модели, содержащие скважину, характеризующуюся вышеуказанными структурами.

Полученная модель трещины разрыва правильной формы, характеризующаяся параметрами, заявленными для реальной промышленной скважины, показывает минимальное увеличение дебита, что не соответствует действительным показателям, для условий описываемых созданной моделью (Рис. 1, а). При этом полученная модель трещины разрыва, имеющей разветвленный характер, характеризуется увеличением дебита, сопоставимым с реальными показателями (Рис. 1, б).

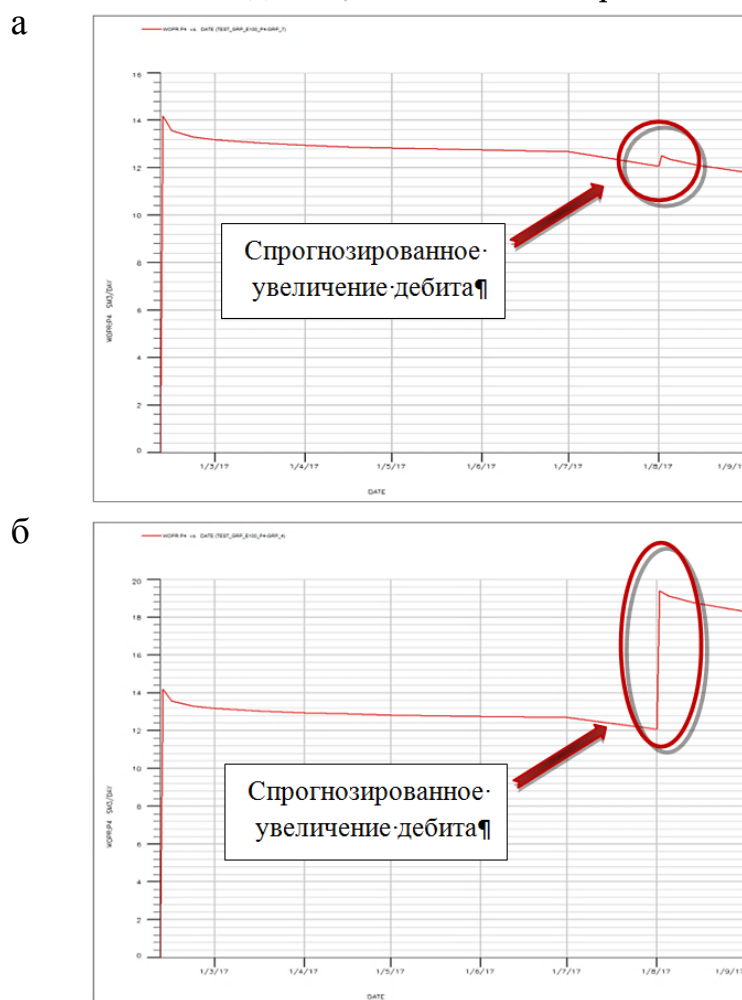


Рис. 1. Увеличение дебита скважины после проведения в ней ГРП, смоделированное при помощи ПО Eclipse

Результаты гидродинамического моделирования, наглядно иллюстрируют очевидность создания в пласте разветвленной структуры сложного характера в процессе проведения операции по гидравлическому разрыву пласта.

Лабораторные испытания на керне проведены при помощи специализированного оборудования, позволяющего симитировать реальные условия, характерные при операции по гидравлическому разрыву пласта. Результаты исследования проанализированы при помощи томографа (Рис. 2).



а) исходный образец керна;

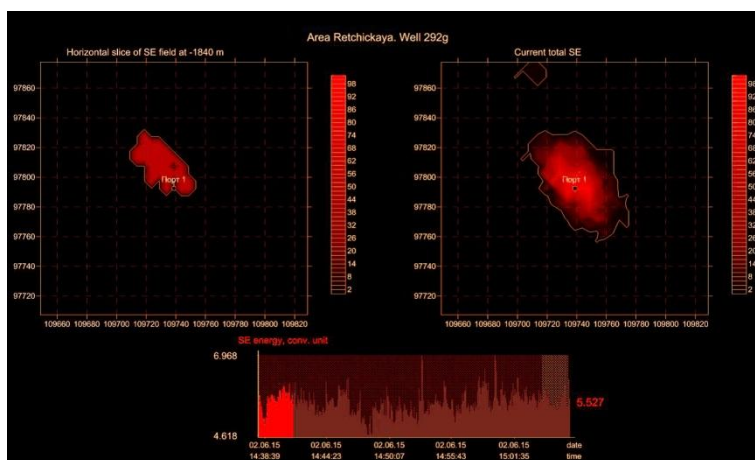
б) образец, полученный в результате эксперимента

Рис. 2. Образцы керна до (а) и после (б) проведения эксперимента

Результаты эксперимента подтверждают гипотезу о возникновении в результате гидравлического разрыва пласта в карбонатном коллекторе разветвленной трещиноватой структуры, характеризующейся слиянием естественных трещин пласта в единую фильтрационную систему с некоторым подключением матричной составляющей, обладающей наиболее слабыми перегородками.

Также, в рамках экспериментального подтверждения выдвинутой гипотезы, проведены ОПР с применением технологии СЛОЭ, позволяющей осуществление непрерывного «прослушивания» геологической среды с выполнением 4-мерной визуализации микросейсмической активности исследуемого объема.

На рис. 3 представлен пример фрагмента визуализации процесса формирования зон, иллюстрирующий общее поле эмиссии, обусловленное раскрытием и схлопыванием пустот породы.



*слева фиксируется текущий срез,
справа – накопленный,
снизу – среднее значение*

Рис. 3. Фрагмент визуализации 2D-динамики процесса трещинообразования во время проведения гидроразрыва пласта

Таким образом, целесообразно заключение о подтверждении гипотезы как лабораторными, так и опытно-промысловыми исследованиями.

Экспериментальная оценка предлагаемой автором математической модели.

В настоящее время, ни одна из существующих методик математического моделирования эффекта операции ГРП не может быть принята в качестве универсальной, что свидетельствует об актуальности исследований в данной области.

Математическая модель, предлагаемая автором, основанная на гипотезе о разветвленном строении трещины, возникающей в связи с переопределением пустотностей карбонатного коллектора при проведении операции гидроразрыва, демонстрирует высокую стабильность результата наряду с максимальным снижением конечной погрешности (Рис. 4).

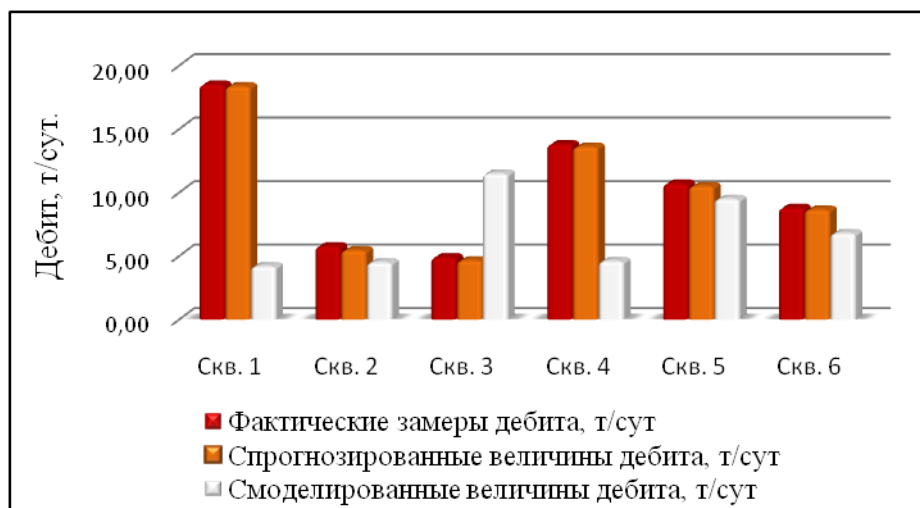


Рис. 4. Визуальные характеристики отклонений фактических дебитов скважин от спрогнозированных, при помощи методики, разработанной автором величин

Разработка гидродинамического 3D симулятора процесса гидроразрыва пласта АЈ

Проектное программное обеспечение АЈ – разрабатываемый авторами, гидродинамический 3D симулятор, - имеет своим предназначением численное моделирование операций по гидравлическому разрыву пласта различных степеней геологической сложности.

Модуль является локально-сетевым и предназначен для внутреннего пользования компанией.

В качестве исходной гидродинамической модели комплекс АЈ использует частичную выгрузку гидродинамической модели Eclipse с сохранением опции потока на границе, определенным в результате полного расчета месторождения. В качестве исходного математического базиса расчета эффективности операции гидравлического разрыва пласта, комплекс АЈ использует вышеозначенную методику.

На рис. 5 представлены окна первичного ввода данных, характеризующиеся наличием следующих параметров:

- комплекс полей ввода общих характеристик исследуемого объекта,
- функция выбора дополнительных условий,

- функция создания итогового отчета заданной степени детализации,
- функция управления детализацией МГРП,
- функция сохранения / печати отчета
- характеристики моделируемой операции, заявленные в качестве исходной базы данных.

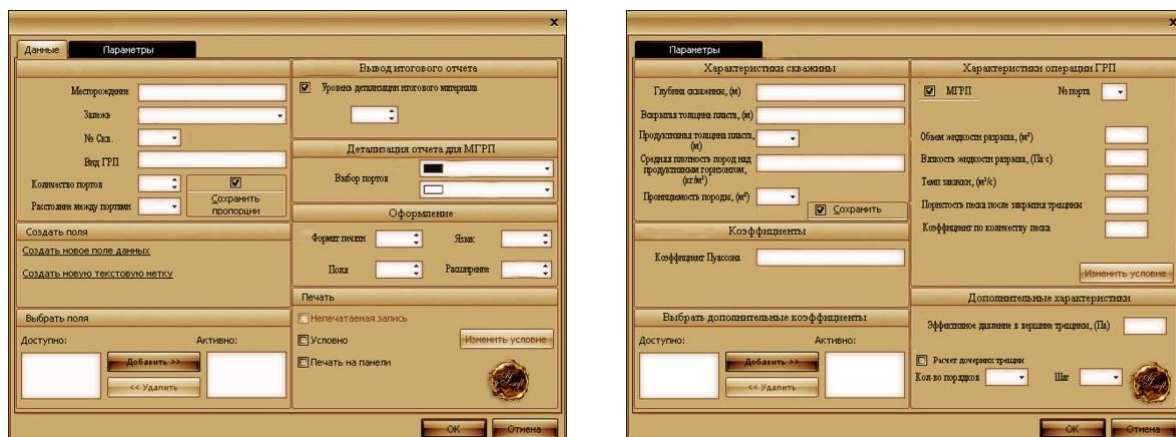


Рис. 5. Окна первичного ввода данных

На основании исходных данных симулятором определяются ячейки геологической модели, пересеченные плоскостью трещины разрыва, между которыми создаются дополнительные виртуальные соединения. Моделирование притока флюида из пласта в скважину осуществляется путем аналитико-эмпирического расчета коэффициента соединения для каждой вскрытой ячейки гидродинамической сетки. Проектируемая модель представляет собой элемент системы разработки, включающий в себя добывающую скважину, заданную в центре моделируемой области и зону распространения нагнетаемого в пласт агента.

Симулятор АЈ также предполагается реализация следующих возможностей:

- моделирование эффекта прорыва пластовой воды в скважинах с проведенной операцией по гидроразрыву пласта;
- моделирование снижения эффекта ГРП во времени;
- моделирование операции ГРП в условиях терригенных коллекторов;

- увеличение приемистости нагнетательных скважин при обратном эффекте операции, а так же превышении проектного давления гидроразрыва пласта;
- моделирование распространения трещины разрыва за пределы пласта;
- проведение анализа чувствительности, а так же гибкое варьирование геометрических параметров трещины.

Преимущества симулятора АЖ:

1. Симулятор АЖ разработан и адаптирован для расчета эффективности операций по гидравлическому разрыву пласта в карбонатных коллекторах, что в настоящее время не имеет конкурентно способных аналогов.
2. Инновационный подход к определению геометрических характеристик результирующей пустотности породы позволяет осуществлять значительное снижение погрешности моделирования конечного эффекта при наглядной визуализации проекта.
3. Сравнительным преимуществом моделирования процесса гидроразрыва при помощи программного симулятора АЖ является значительное уменьшение времени расчета показателей при одновременном повышении качества моделирования
4. Методика проходила апробацию и оценку эффективности в сравнении с методикой моделирования трещины разрыва при помощи дробления ячеек гидродинамической сетки. В результате анализа установлена большая эффективность вышеописанного метода, поскольку учет геометрических параметров трещины в явном виде более соответствует реальным изменениям, происходящим в пласте в процессе проведения операции.

На основании вышеизложенного представленный комплекс рекомендуется для практического применения при проектировании операций по гидравлическому разрыву пласта.

Список литературы

1. Желтов Ю.П. Разработка нефтяных месторождений: Учебник для вузов. – М.: Недра, 1986. 332 с.
2. Желтов Ю.П., Христианович С.А. О гидравлическом разрыве нефтеносного пласта // Изв. АН СССР. ОТН. 1955. №5. С.3-41.
3. Оценка эффективности гидравлического разрыва пласта на основе гидродинамических исследований вертикальных скважин / М.Х. Хайруллин, Р.С. Хисамов, М.Н. Шамсиев, П.Е. Морозов, Е.Р. Бадертдинова, И.Т. Салимьянов // Нефтяное хозяйство. – 2009. – №7. – С. 56-59.
4. Интерпретация результатов гидродинамических исследований скважин / Р.С. Хисамов, Н.А. Назимов, Р.Г. Фархуллин, М.Т. Ханнанов, Е.Р. Бадертдинова, И.Т. Салимьянов, М.Х. Хайруллин // Материалы докл. науч.-практ. конф., посвященной 60-летию образования ОАО «Татнефть». – Альметьевск, 2010. – С. 85-97.

Сведения об авторах

Радченко Юлия Александровна, магистр технических наук, аспирант-соискатель, РУП
ПО "Белоруснефть", БелНИПИнефть, г. Гомель, Республика Беларусь
E-mail: Yli_ua@bk.ru

Authors

Radchenko Yu.A., MEng, External PhD Student, Republic Unitary Enterprise Production
Association Belorusneft, BelNIPIneft, Gomel, Republic of Belarus
E-mail: Yli_ua@bk.ru

Радченко Юлия Александровна
246003, Республика Беларусь,
г. Гомель, ул. Амурская 13/31
тел.: +375 29 166-06-01
E-mail: Yli_ua@bk.ru