

ИНЖИНИРИНГОВЫЙ ЦЕНТР МФТИ  
ПО ТРУДНОИЗВЛЕКАЕМЫМ ПОЛЕЗНЫМ ИСКОПАЕМЫМ

**Сведения о ходе выполнения проекта**

В ходе выполнения проекта по Соглашению о предоставлении субсидии от 03 октября 2017 г. № 14.581.21.0027 с Минобрнауки России в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» на этапе №1 в период с 03 октября 2017 г. по 31 декабря 2017 г. выполнялись следующие работы:

1. Анализ гидродинамических и волновых процессов, протекающих в скважине при проведении ГРП / МГРП;
2. Разработка физико-математической модели, описывающей изотермическое многофазное течение смеси жидкости и проппанта в стволе скважины с учетом условий проскальзывания (многоскоростная модель);
3. Оптимизация и отладка вычислительных алгоритмов расчета геометрии трещины в рамках псевдотрехмерной модели;
4. Разработка физико-математической модели, описывающей процесс формирования трещины ГРП в рамках модели ILSA Planar 3D в слоистой среде;
5. Разработка физико-математической модели и эффективного расчетного алгоритма для задачи формирования плоской трещины ГРП с учетом критерия разрушения и пороупругих эффектов (модель Planar 3D Biot);
6. Разработка физико-математической модели, описывающей течение суспензии в канале трещины в рамках двухконтинуальной модели;
7. Разработка физико-математической модели, описывающей процесс кислотного ГРП с учетом взаимодействия раствора кислоты с породой;
8. Разработка физико-математической модели развития множественных трещин в рамках метода динамики частиц;
9. Разработка архитектуры модуля для интерпретации нагнетательных тестов при ГРП / МГРП;
10. Программная реализация алгоритмов расчета геометрии трещин ГРП на основе полуаналитических моделей;
11. Разработка алгоритмов определения оптимальных параметров трещин ГРП / МГРП, обеспечивающих достижения целевых параметров;
12. Разработка внутренних стандартов программирования и интерфейсов сопряжения модулей;
13. Проведение патентных исследований на тему: "Моделирование геомеханических и гидродинамических процессов при ГРП / МГРП".

При этом были получены следующие результаты:

- 1) Разработанная физико-математическая модель многофазного течения смеси жидкости и проппанта в стволе скважины позволяет вычислять связь между данными на устье и забое скважины с учетом потерь давления на трение. Нестационарная модель позволит описывать эффект гидроудара (hammer-эффект) при стыковке решения с расчетом течения в трещине ГРП.
- 2) В результате оптимизации и отладки вычислительных алгоритмов расчета геометрии трещины в рамках псевдотрехмерной модели получено существенное ускорение расчетов при сохранении точности вычислений.
- 3) Разработанная физико-математическая модель процесса формирования трещины ГРП в рамках модели ILSA Planar 3D учитывает слоистость среды и использует асимптотические формулы для решения вблизи вершины трещины, что на следующем этапе позволит реализовать численный алгоритм, обладающий высокой точностью и

скоростью расчета.

4) Физико-математическая модель процесса формирования плоской трещины с учетом пороупругих эффектов (модель Planar 3D Biot) учитывает взаимное влияние напряжений и фильтрации жидкости в пласте и порового давления, что позволяет точнее определять утечки жидкости из трещины в пласт, в том числе в условиях неоднородного по физическим свойствам пласта.

5) Разработанная физико-математической модели процесса течения суспензии в канале трещины в рамках двухконтинуальной модели представляет собой более совершенный подход в сравнении с применяемыми в коммерческих симуляторах моделями. Ключевые особенности созданной модели – учет предела текучести суспензии, гравитационной конвекции и эффект межфазного проскальзывания в системе жидкость – проппант.

6) Модель кислотного гидроразрыва пласта описывает ряд дополнительных эффектов, возникающих при закачке кислоты в трещины ГРП – протравливание стенок трещины, образование червоточин в матрице породы при утечке кислотного состава в пласт, формирование остаточной проводимости трещины в условиях неоднородного пласта без закачки проппанта в трещину.

7) Разработанная физико-математическая модель развития множественных трещин в рамках метода динамики частиц позволяет учесть деформирование и разрушение породы при распространении трещин ГРП/МГРП, определить изменения напряженно-деформированного состояния и учесть влияние предзаданной сети естественных трещин на процесс формирования трещин ГРП в пласте.

8) Архитектура разрабатываемого программного комплекса представляет собой модульную структуру, объединяющую набор расчетных модулей с пользовательским интерфейсом (модулем пре- пост-процессинга) и модулями для инженерного анализа. Модульность программного комплекса позволяет осуществлять поэтапную разработку компонентов ПО и последующее расширение их функциональности без затрат времени на доработку всей структуры программы.

9) Полуаналитические модели для расчета геометрии трещин ГРП реализованные в двух постановках (KGD и Radial) и в дальнейшем будут использованы при разработке модуля экспресс оценки дизайна ГРП.

10) Разработанный генетический алгоритм позволяет находить набор оптимальных значений для заданной целевой функции путем построения фронта Парето, использующегося при выборе оптимальных параметров трещин ГРП / МГРП.

11) Внутренние стандарты программирования и интерфейсы сопряжения модулей определяют классовую структуру программного кода, обеспечивающую дальнейшее сопряжение модулей между собой, как при решении связанных задач внутри расчетного ядра, так и при сопряжении с интерфейсом программы.

Перечень работ, выполненных на первом этапе ПНИЭР соответствует плану-графику исполнения обязательств по Соглашению о предоставлении субсидии № 14.581.21.0027 от 03 октября 2017 г. Полученные результаты соответствуют техническим требованиям к выполняемому проекту и обеспечивают его успешную реализацию на следующих этапах. На первом этапе выполнения ПНИЭР не получены охраноспособные РИД.