

# Исследование трещиноватости, моделирование и анализ неопределенностей карбонатного коллектора с включением динамических данных (Ближний Восток)

Ф. Гамес

VF Energy Solutions, Женева, Швейцария  
E-mail: federicogames@gmail.com

Настоящая работа посвящена исследованию месторождения и показывает преимущества изучения трещиноватости и анализа риска. Анализ неопределенности проводился по показателям добычи, периоду эффективной добычи и конечному коэффициенту извлечения нефти. Месторождение разрабатывается более 48 лет, однако величина добытой нефти составляет менее 2% от начальных геологических запасов нефти. Измерения исторических данных по темпам добычи (соотношение фаз воды и нефти (water-oil phase ratio), газовый фактор, разрез, и т.д.) и давления (статического и динамического) были использованы для ограничения неопределенных параметров в течение исторического периода, а затем для прогнозирования. Из-за низкой суммарной добычи были выявлены неопределенности в исследовании трещиноватости (дискретная сеть трещин) вместе с неопределенностями коллектора и геологической неопределенностью. В оценке анализа по периоду эффективной добычи и коэффициенту извлечения нефти учитывалось несколько поверхностных/контролируемых параметров. В анализе риска учитывались два основных механизма извлечения нефти: нагнетание газа из сводной части для газового гравитационного дренажа и нагнетание воды в нижнюю часть пласта по периферии с естественным поглощением. Рассмотрены несколько сценариев дискретной сети трещин и 43 неопределенных параметра коллектора с их распределением вероятностей. Была применена методология экспериментальной разработки и поверхности отклика (статистический метод) для минимизации количества экспериментов по исследованию коллекторов. Для этапа скрининга использовалась экспериментальная разработка Плакетта и Бермана. На данном этапе было обнаружено, что 7 неопределенных параметров составляют более 80% от общего объема суммарной добычи нефти. Был применен метод детального латинского гиперкуба с 3-мя дискретными сетями трещин, контролируемыми неопределенными параметрами и 7 наиболее важными параметрами. Данный анализ риска выявил лучшие реализации каждого этапа разработки (P10 и P90), а также основные неопределенности, влияющие на план разработки месторождения. Для сокращения основных факторов, влияющих на неопределенность, был разработан план по снижению рисков, исследованию и мониторингу.

**Ключевые слова:** трещиноватость, моделирование, анализ неопределенностей, карбонатный коллектор

**Для цитирования:** Гамес Ф. (2018). Исследование трещиноватости, моделирование и анализ неопределенностей карбонатного коллектора с включением динамических данных (Ближний Восток) *Георесурсы*, 20(3), Ч.1, с. 154-157. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2018.3.154-157>

## Введение

Процесс принятия решений при планировании разработки месторождения сталкивается с новыми проблемами; менеджерам приходится принимать решения в условиях наличия неопределенностей. В последние годы эта практика коренным образом изменилась, многие инновационные рабочие процессы вошли в литературу. Все больше признается необходимость сохранения научного взгляда в геологии в течение исторического периода для более надежного прогнозирования и растущего признания неопределенности, а также необходимость изучения нескольких исторически сопоставленных моделей, а не одной лучшей модели прогнозирования.

Данное исследование представляет собой практический подход к решению сложной проблемы анализа риска в прогнозе эффективности применительно к трещиноватому коллектору.

## Методология

В основном, предлагаемая методология (Рис. 1) включает в себя трехступенчатую процедуру, использующую методику экспериментальной разработки и метод на основе поверхности отклика.

## Описание трещиноватого коллектора месторождения

Рассматриваемое месторождение (Рис. 2) представляет собой трещиноватый карбонатный коллектор, имеющий нарушения.

Накопление нефти происходит в трех основных зонах. Продуктивные пласты состоят из слоистого мелового известняка с относительно высокой пористостью (20%+) и низкой проницаемостью матрицы (2-10 мД). Данные слои коллектора переслаиваются с плотными, более трещиноватыми слоями. Общая структура месторождения – это широкий, слегка удлиненный купол в северо-восточном-западном направлении с мягкими погруженными



Рис. 1. Методология анализа неопределенности

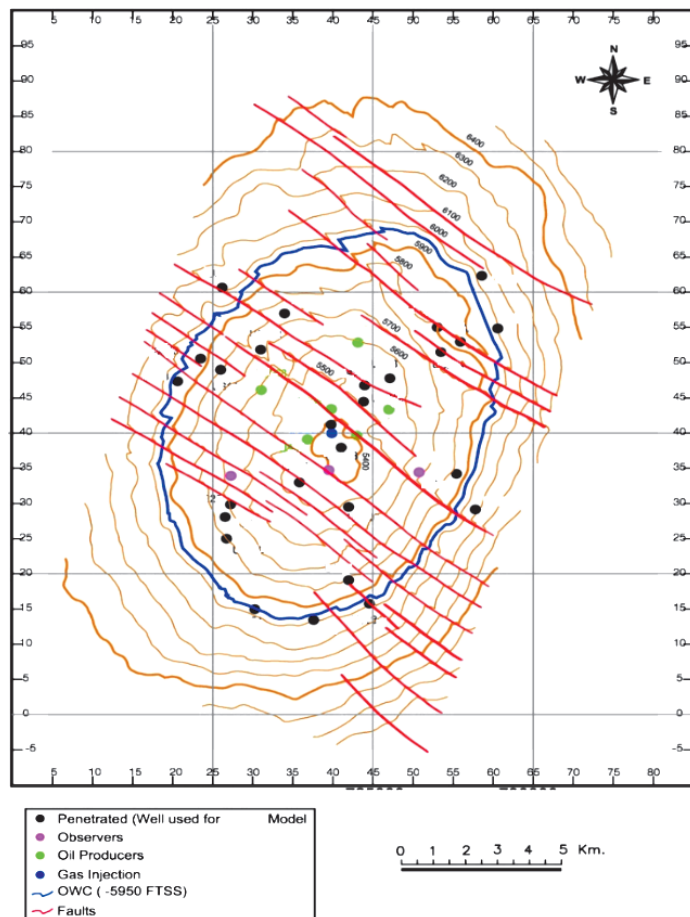


Рис. 2. Карта трещиноватого коллектора

крыльями. Испытания пластов, исследования керна, данные пластового микроимиджера и микросканирования подтверждают высокую проницаемость открытых трещин, ориентированных на СЗ-ЮВ поперек свода структуры.

Интерпретация трехмерной сейморазведки показывает многочисленные обыкновенные разломы СЗ-ЮВ простирания с небольшими сбросами, прорезающими коллекторы. Данные разломы ориентированы перпендикулярно доминирующей направляющей системы открытых трещин и старше последней системы разломов СВ простирания. Второй набор трещин параллелен направляющим разломам; считается, что эти трещины минерализованы, они мало влияют на поток флюида, поскольку пересекаются более молодыми открытыми трещинами. Вязкость нефти равна примерно 0.7 сП, с начальным газовым фактором 400 scf/STB (куб.фунт в ст.у./баррель в ст.у.). Нефть сильно недонасыщена: давление насыщения нефти газом составляет 1200 фунтов на кв. дюйм, а начальное давление коллектора составляет 2925 фунтов на кв. дюйм. Добыча нефти рассматриваемого месторождения началась в августе 1962 года из одной скважины со средним дебитом 4468 ст. бар. в сут. сухой недонасыщенной нефти.

Имеющиеся данные о динамике эксплуатации пласта и о давлении указывали на ограниченный водонапорный режим скважины и отсутствие энергии коллектора, что привело к неэффективной начальной разработки пласта. В результате, сделан вывод о том, что наилучшим методом извлечения нефти является закачка газа.

### Рассмотренные неопределенности

Были определены сорок три неопределенных параметра для следующих элементов коллектора:

- Сообщаемость коллекторов;
- Свойства трещин и матрицы;
- Свойства горных пород-флюидов (газовый фактор, коэффициент усадки нефти, вязкость...);
- Контролируемые параметры.

Некоторые из приведенных выше параметров были применены на в целом по месторождению, а некоторые из них были применены поэтапно, пласт за пластом. В то время как система разломов была классифицирована как три подмножества разломов, каждая система разломов имела свое значение проницаемости.

### Первый экспериментальный вариант: этап скрининга – Плакетт и Берман

Предлагается экспериментальный план Плакетта и Бермана с 44 расчетами (итерациями) для оценки основного эффекта каждого неопределенного параметра.

Анализ сосредоточен на суммарной добыче нефти в конце прогнозирования для выбора вариативных переменных анализа риска.

График Парето (Рис. 3), основанный на теории суммарного анализа чувствительности, показывает влияние каждого неопределенного параметра на процентное распределение от общей измеренной суммарной добычи нефти на 01/01/2051. Из 43 параметров имеется 7 неопределенных, что составляет 83% от общего объема суммарной добычи нефти.

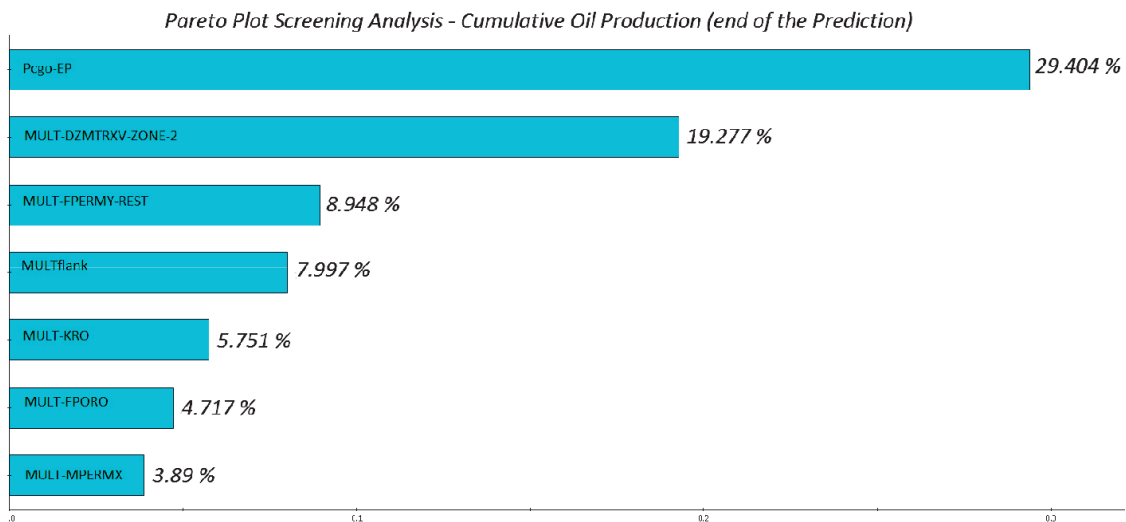


Рис. 3. График Парето – Этап скрининга

### Второй экспериментальный вариант: Этап анализа неопределенности – латинский гиперкуб

На данном этапе добавлен неопределенный параметр для сетки трещин. Каждая дискретная сеть трещин является выходным параметром (с набором свойств, пористости, проницаемости трещины, размером блока и среднеквадратичного значения) предполагаемого непрерывного параметра с именем DFN-Case (дискретная сеть трещин). Данный параметр представляет собой расширение трещины и сообщаемость системы.

В дополнение к данным неопределенным параметрам субповерхности рассмотрены поверхностные/контролируемые неопределенные параметры для оценки анализа рисков.

Неопределенность по подаче газа рассматривается с помощью множителя закачки газа.

Величина давления устья скважины является первостепенным фактором, с помощью которого возможно выявить восходящий потенциал из незначительных корректировок давления.

В конечном итоге, величина газового фактора является вспомогательным фактором для определения параметра ограничения добычи газа. Данный неопределенный параметр в основном является второстепенным с точки зрения общих эксплуатационных требований.

### Неопределенные параметры, ограниченные историческими данными

Для выполнения анализа неопределенности на месторождениях с большой степенью выработанности необходимо назначить порог для приемлемых решений. Это означает, что все комбинации (вариации) неопределенных параметров, обеспечивающие глобальную целевую функцию выше порога, будут отброшены. Данная методология обычно называется анализом неопределенности, ограниченным историческими данными.

### Анализ вероятностных распределений

Влияние всех неопределенных параметров, ограниченных и неограниченных историческими данными, поверхностными неопределенностями, будет оцениваться по

суммарной добыче нефти на конец прогноза (01/01/2051), а также по периоду эффективной добычи. В результате анализа были построены поверхности отклика. Для обеспечения наилучшего качества поверхности отклика, с точки зрения точности и прогнозирования, использовалась непараметрическая поверхность. Наибольшее влияние на изменение суммарной добычи нефти приходится на тип DFN (дискретной сети трещин). Вариант рассеивания параметров в облаке данных указывает на промежуточное значение суммарной добычи нефти, а вариант N30/130 SSF является самым высоким значением и, наконец, минимальный вариант является самым низким значением. Тип дискретной сети трещин составляет более 45% от общего изменения периода эффективной добычи.

### План по снижению рисков и на случай непредвиденных обстоятельств

При рассмотрении уменьшения неопределенности для некоторых неопределенных параметров необходимо точно определить определенный показатель (период эффективной добычи, суммарная добыча нефти и т.д.), а также количественную оценку сокращения с точки зрения изменения отклика.

Рассматриваемые параметры для уменьшения неопределенности показаны далее в порядке приоритета:

- Тип DFN (дискретная сеть трещин);
- Сообщаемость через плотные породы;
- Сообщаемость через «крылья» залежей.

В итоге расширение знаний по данным трем неопределенным параметрам приведет к большим сокращениям на границе P10-P90 для периода эффективной добычи, а также суммарной добычи нефти.

В период эффективной и суммарной добычи основной риск для трех рассматриваемых реализаций дискретной сети трещин может быть снижен благодаря контролю давлению на устье скважины.

В результате соблюдения производственных обязательств, обеспечение гибкости при контроле давления на устье скважины в зависимости от варианта дискретной сети трещин DFN является ключевым условием, которое необходимо учитывать при окончательном плане разработки месторождения (Рис. 4).

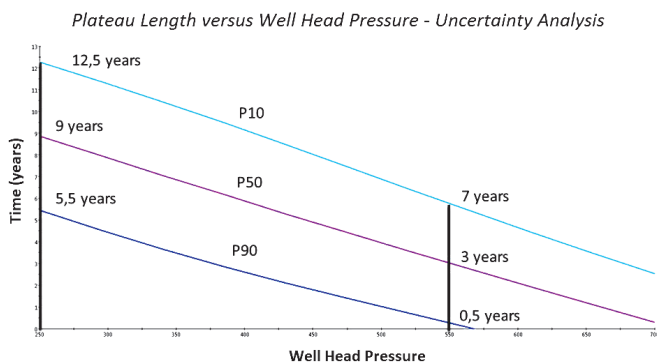


Рис. 4. Вероятностный период эффективной добычи по сравнению с давлением на устье скважины – план на случай непредвиденных обстоятельств

## Резюме и выводы

Далее приведены некоторые из основных выводов и обобщений, извлеченных из нашего опыта:

- Показано, как уменьшить риск низкой производительности и периода эффективной добычи путем управления ключевыми переменными (например, ТНР – контролируемое давление на устье).
- Контролируемые параметры должны быть включены в любой анализ неопределенности для получения

гибкости и контроля результатов.

- Настоящий анализ рисков показывает, как определить ключевые неопределенные параметры, играющие роль в выбранных производственных целях (добыча и период эффективной добычи).

- Исторические данные помогают ограничить вероятностные распределения наиболее вариативных параметров.

- Анализ наиболее вариативных неопределенных параметров, влияющих на качество сопоставления исторических данных, приводит к лучшему пониманию модели.

- Выходные вероятностные распределения помогают разместить базовую реализацию в неопределенной области, а также определять большие или меньшие значения реализаций для дальнейшего экономического анализа.

## Сведения об авторе

Федерико Гамес – Руководитель проектов

VF Energy Solutions

Avenue Dumas 13, CP: 1206, Женева, Швейцария

E-mail: federicogames@gmail.com

Статья поступила в редакцию 17.07.2018;

Принята к публикации 01.08.2018; Опубликована 30.08.2018

IN ENGLISH

## Fracture characterization, modeling and uncertainty analysis of a carbonate reservoir with integration of dynamic data (Middle East)

F. Games

“VF Energy Solutions”, Geneva, Switzerland

**Abstract.** This field case study shows the benefits of fracture characterization and risk analysis. The uncertainty analysis was performed on production, plateau length and ultimate recovery factor. The field has been under production for more than 48 years, nevertheless it has produced less than 2% of the STOIP. Historical data measurements on production rates (wopr, gor, wcut, etc) and pressures (static and flowing) have been used to constrain uncertain parameters during historical period and then propagate it into the prediction. Due to the low cumulative production, fracture characterization uncertainties have been incorporated (Discrete Fracture Network) together with reservoir uncertainties and geological uncertainties. Several surface/controllable parameters have been considered in the analysis evaluation on Plateau Length and Recovery Factor. The risk analysis accounts for two main recovery mechanisms: gas injection from the crest for Gas gravity drainage and periphery downdip water injection with natural imbibition. Several scenarios of DFN’s and 43 uncertain reservoir parameters with their probability distribution were considered. Experimental Design and Response Surface Methodology was applied to minimize the number of Reservoir simulation runs of the study. Plackett and Burman Experimental Design was used for the Screening Phase. During the screening phase, it has been revealed that 7 uncertain parameters account for more than 80 % of the

total variation of Cumulative Oil Production. A detailed Latin Hypercube has been performed with 3 discrete fracture network, controllable uncertain parameters and the 7 most relevant parameters. This risk analysis identified the best cases of each phase of the development, P10 and P90, and the major uncertainties impacting the field development plan. Mitigation, acquisition, and monitoring plan have been defined accordingly to reduce the major impacting uncertainties.

**Keywords:** fracture, modelling, uncertainty analysis, carbonate reservoir

**Recommended citation:** Games F. (2018). Fracture characterization, modeling and uncertainty analysis of a carbonate reservoir with integration of dynamic data (Middle East). *Georesursy = Georesources*, 20(3), Part 1, pp. 154-157. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2018.3.154-157>

## About the Author

Federico Games – Project Manager

VF Energy Solutions

Avenue Dumas 13, CP: 1206, Geneva, Switzerland

E-mail: federicogames@gmail.com

Manuscript received 17 July 2018;

Accepted 01 August 2018; Published 30 August 2018