УДК 553.983

Д.Н. Пескова
ООО «Газпромнефть НТЦ» (Санкт-Петербург)[1]
специалист отдела сопровождения проектов ГРР на Ближнем Востоке
Peskova.DN@gazpromneft-ntc.ru

М.В. Наугольнов
ООО «Газпромнефть НТЦ» (Санкт-Петербург)[1]
главный специалист управления геологии и разработки зарубежных и совместных проектов
Naugolnov.MV@gazpromneft-ntc.ru

Д.В. Солодов
ООО «Газпромнефть НТЦ» (Санкт-Петербург)[1]
начальник отдела сопровождения проектов ГРР на Ближнем Востоке
Solodov.DV@gazpromneft-ntc.ru

Р.А. Ошмарин
ООО «Газпромнефть НТЦ» (Санкт-Петербург)[1]
начальник управления сопровождения крупных проектов ГРР
Oshmarin.RA@gazpromneft-ntc.ru

Использование полного цикла вероятностной оценки актива с использованием подхода по оценке ценности информации (VOI) для формирования программы ГРР на примере одного из месторождений бассейна Загрос

[1]Россия, 190000, Санкт–Петербург, Набережная реки Мойки, 75–79.

Авторы поставили целью выбор оптимальной стратегии ГРР в условиях крайне сложного структурно-тектонического строения и высоких технологических рисков при бурении и освоении скважин

Ключевые слова: нефтегазоносный бассейн Загрос; неопределенности проекта; оценка ценности информации; дерево решений

Задача работы заключалась в интеграции разработанных авторами аналитических инструментов по проведению технико-экономической оценки проекта на основе многовариантной геолого-статистической модели с последующим ранжированием всех возможных опций по методике ценности информации (*VOI*). Одним из основных вызовов проекта ГРР является поиск зон трещиноватости,

с которыми связаны основные притоки из скважин в исследуемом регионе.

Краткие сведения о проекте

Месторождение X расположено в Иракском Курдистане. В структурно-тектоническом плане объект находится в предгорной части месопотамского нефтегазоносного бассейна, в слабоскладчатой зоне. В региональном плане структура месторождения приурочена к антиклинали, развитой вдоль надвига, образованного в результате сдвига верхней части осадочного чехла по солям формации *Fars*. Ловушка структурная, тектонически-экранированная. Основной продуктивный горизонт связан с карбонатными отложениями, образованными в условиях глубоководно-морского бассейна. Матричные фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС) низкие ввиду свойств коллектора, поэтому одним из основных вызовов проекта является поиск зон трещиноватости, которые связаны в первую очередь с тектоническими событиями в районе исследования. Основываясь на распределении основных стрессов, наиболее трещиноватая зона должна быть сосредоточена вдоль основного надвига. Данный тезис косвенно подтверждается испытаниями на исследуемом участке работ, соседнем месторождении, а также подтверждается результатами выполненного атрибутного анализа.

Оценка ценности информации работ ГРР

При текущей сложности геологического и структурно-тектонического строения региона изученность площади недостаточная, т.к. несмотря на полное покрытие структуры 3Д СРР, поисково-разведочное бурение неравномерное (3 скважины глубокого бурения). Также вызовом проекта является крайне высокая стоимость геолого-геофизических исследований для успешной разработки месторождения, поэтому предложено несколько стратегий доразведки с использованием анализа ценности информации (VOI) планируемых работ для оценки их необходимости и эффективности [1].

Основные неопределенности проекта – наличие зон трещиноватости, с которыми связаны потенциально высокие дебиты из скважин, нефтегазоносность и продуктивность нижележащего пласта-коллектора «S», уровень ВНК. На этом основании были выбраны основные пути продолжения работ на блоке (***рис. 2***):

– опция 1 – бурение скважины для подтверждения прогноза трещиноватости и продуктивности пласта «S»;

– опция 2 – проведение ГРП в существующей скв. #1 для подтверждения трещиноватости, получения рентабельных дебитов;

– опция 3 – бурение скважины для подтверждения запасов P50 и наличия зон трещиноватости.

Для оценки ценности информации планируемых работ ГРР было построено дерево решений возможных исходов работ. Вероятность исходов оценивалась с привлечением региональных и скважинных данных, НИР на месторождении, а результатом послужила ценность проекта, выраженная в EMV для геологических и извлекаемых запасов, оцененных вероятностным способом с учетом всех имеющихся неопределенностей.

Построение дерева решений – одна из важнейших стадий расчета VOI. Дерево было построено для полного развития проекта и поэтапного снятия всех неопределенностей. Поскольку проект подразумевает 3 возможные опции снятия ключевых неопределенностей, были составлены 3 «дерева решений» в зависимости от очередности применения опций на разных этапах проекта:

– Опция 1 – бурение скважины и снятие неопределенностей по наличию трещиноватой зоны, получения рентабельных дебитов, и в последующем применение опции 3 – бурение скважины для снятия неопределенностей по ВНК, подтверждение геологических запасов на уровне P50;

– Опция 2 – проведение ГРП в скв. #1, располагающейся в пределах трещиноватой зоны для оценки дебитов, затем опция 3 – подтверждение геологических запасов P50;

– Опция 3 – подтверждение запасов P50 и оценка рентабельных дебитов в трещиноватой зоне.

Коэффициенты вероятности реализации веток дерева решений будут иметь большое влияние на расчет конечного значения EMV и VOI. Поскольку на данном этапе проекта рассчитать и оценить эти коэффициенты статистически не представлялось возможным, они выбраны на основании имеющихся региональных и скважинных данных. Оценка геологических запасов, профилей разработки были рассчитаны вероятностным путем.

Полный вероятностный цикл оценки разработки месторождения

Подход к использованию полного вероятностного цикла оценки разработки месторождения в режиме истощения был подробно описан в статье [2], однако для условий разработки месторождения в бассейне Загрос подход получил ряд особенностей.

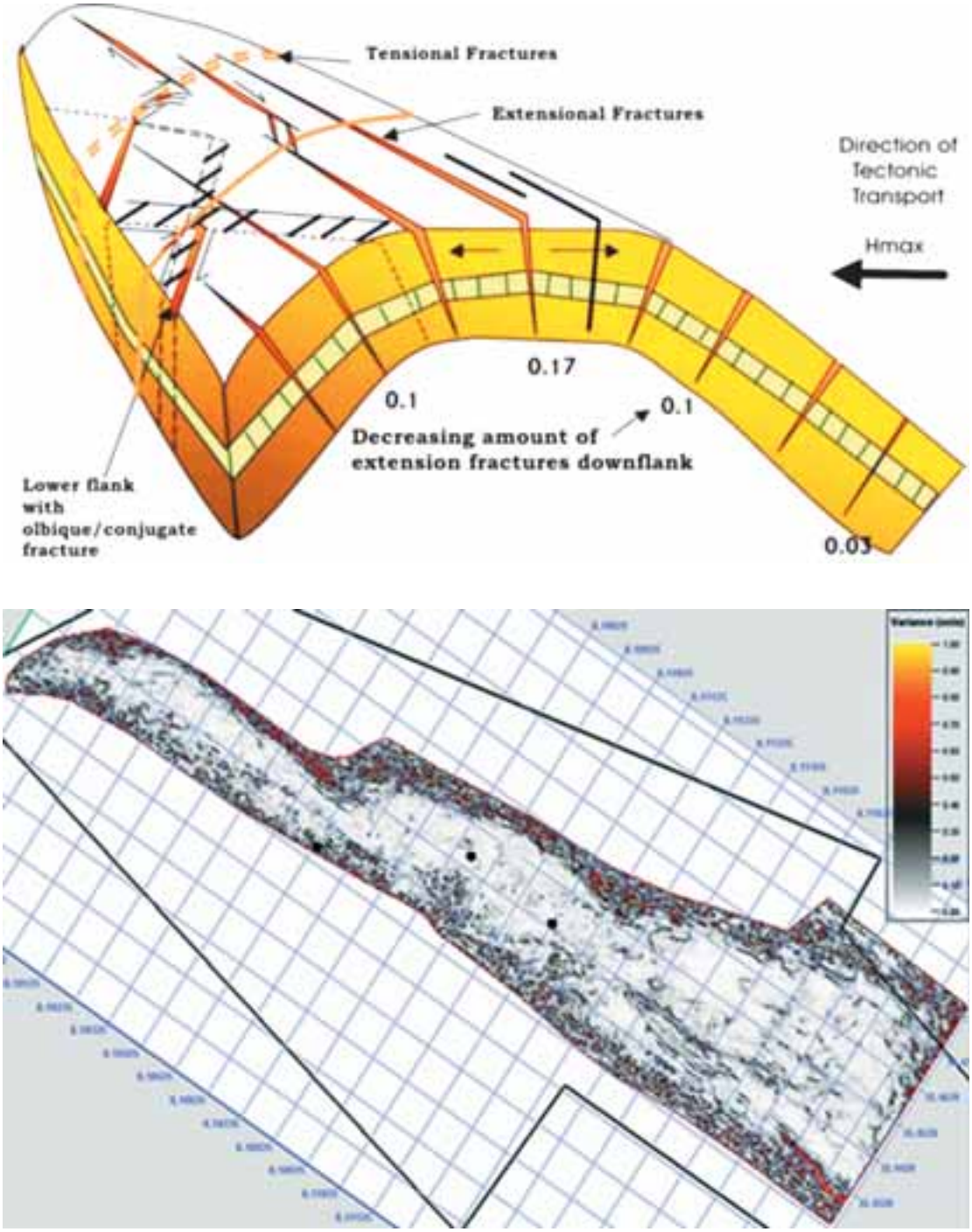


Рис. 1.
Концептуальная схема образования трещин и срез куба когерентности для исследуемой территории

Оценка геологических запасов

Входной информацией для расчета уровней добычи и экономических показателей для каждого из возможных исходов дерева решений послужили 500 реализаций геологической 2D-модели с учетом вариаций по уровню ВНК, структурной неопределённости и петрофизических параметров пластов. Свойства и размер трещинной зоны также были заданы как варьируемый параметр: изменение площади зоны производилось согласно атрибутному анализу, вариация проницаемости матрицы и трещин бралась согласно данным ГДИС из имеющихся скважин, и региональ-

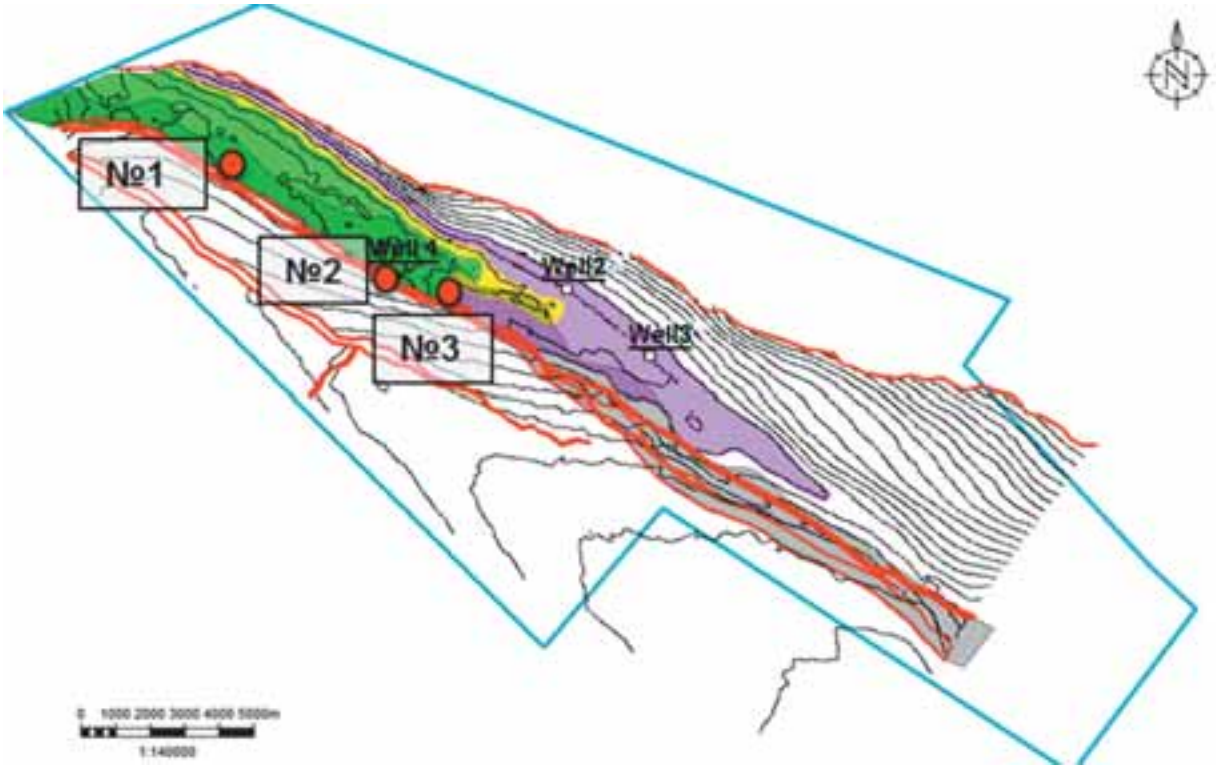


Рис. 2.
Различные опции проведения ГРР

ным данным исследования пластов на ближайших месторождениях, приуроченных к одинаковой тектонической и фациальной зоне, диапазон NTG трещин принят согласно ближайшим месторождениям.

Оценка запускных дебитов

В расчёт интегрирована статистическая модель по оценке запускных дебитов, темпов падения и КИН согласно фактическим региональным данным исследований и показателей работы пластов на ближайших месторождениях, приуроченных к той же тектонической зоне.

Для нефтяных месторождений бассейна Загрос характерна разработка на истощении. Это связано не только с отсутствием источников водоснабжения и практики закачки воды для поддержания пластового давления на месторождениях региона, но и с геологофизическими особенностями залежи, в частности совместимостью закачиваемой воды с породой. В этой связи для расчёта уровней добычи была использована модель типовых кривых падения.

Оценка запускных дебитов проводилась по методу Монте-Карло для вертикальных скважин в трещинной зоне (по уравнению Дюпюи) и для горизонтальных скважин с МГРП в матричной зоне (по уравнению Батлера). При этом использовались значения величин матричной проницаемости и пористости, рассчитанные на основе имеющихся статистических данных и результатов петрофизических исследований по скважинам-аналогам, а также величины проницаемости трещин, рассчитанные на основе данных фактической эксплуатации скважин. Также в расчёт напрямую брались значения эффективных толщин, полученные из распределения запасов.

Построение профилей добычи

Коэффициент извлечения нефти был оценен статистически по ближайшим месторождениям-аналогам. Особое внимание было уделено возможности наличия на месторождении аквифера различной степени активности. Поэтому для варианта геологических запасов P50 было рассчитано несколько вариантов кривых падения добычи нефти и расчётных КИН для условий аквиферов разной мощности с использованием модели Ван-Эвердингена – Херста [3]. Полученные кривые были аппроксимированы уравнением Арпса:

$$f(t) = (1 + bDt)^{-\frac{1}{b}}$$

с параметрами b и D.

Величина пластового давления была рассчитана через средний коэффициент аномаль-

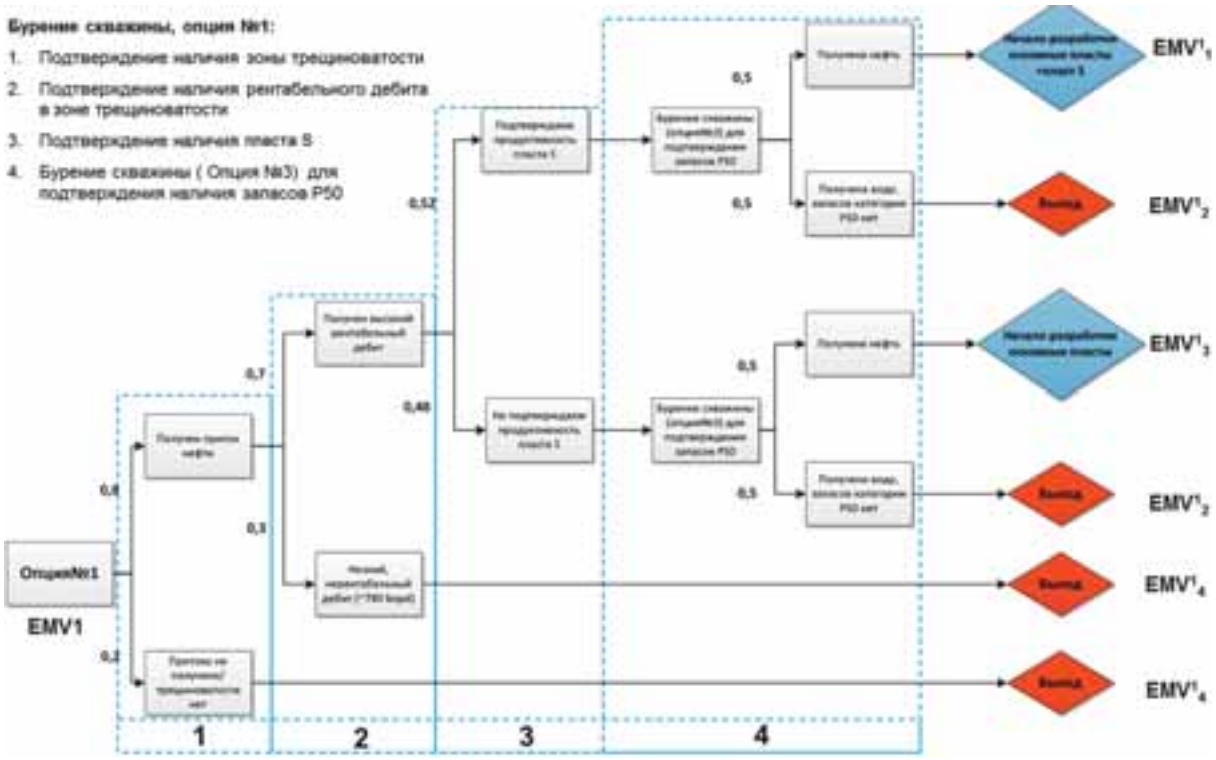


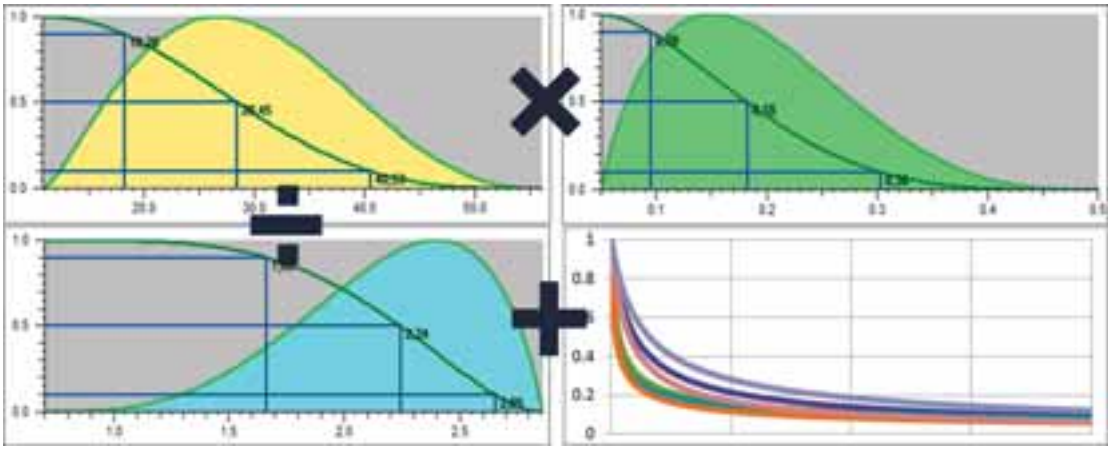
Рис. 3.
Пример дерева решений для варианта 1 (последовательное применение опций 1 и 3)

ности пластового давления месторождений-аналогов.

Проект имеет широкий диапазон возможных значений геологических запасов, поэтому было решено выразить количество необходимых для разработки месторождения скважин как функцию от извлекаемых запасов, приходящихся на одну скважину. Для этого был оценен диапазон возможной накопленной добычи на скважину по месторождениям-аналогам. Количество скважин для каждой из реализаций рассчитывалось путем округления в большую сторону частного от деления геологических запасов, умноженных на статистически оцененный КИН, на величину накопленной добычи нефти на скважину (***рис. 4***).

На основе полученного диапазона возможных кривых падения добычи нефти, нормированных на расчётные и статистические значения КИН и накопленной добычи на скважину, для каждой из реализаций были построены профили добычи (***рис. 5***). При

Рис. 4.
Схема оценки уровней добычи нефти с использованием статистических и расчётных данных



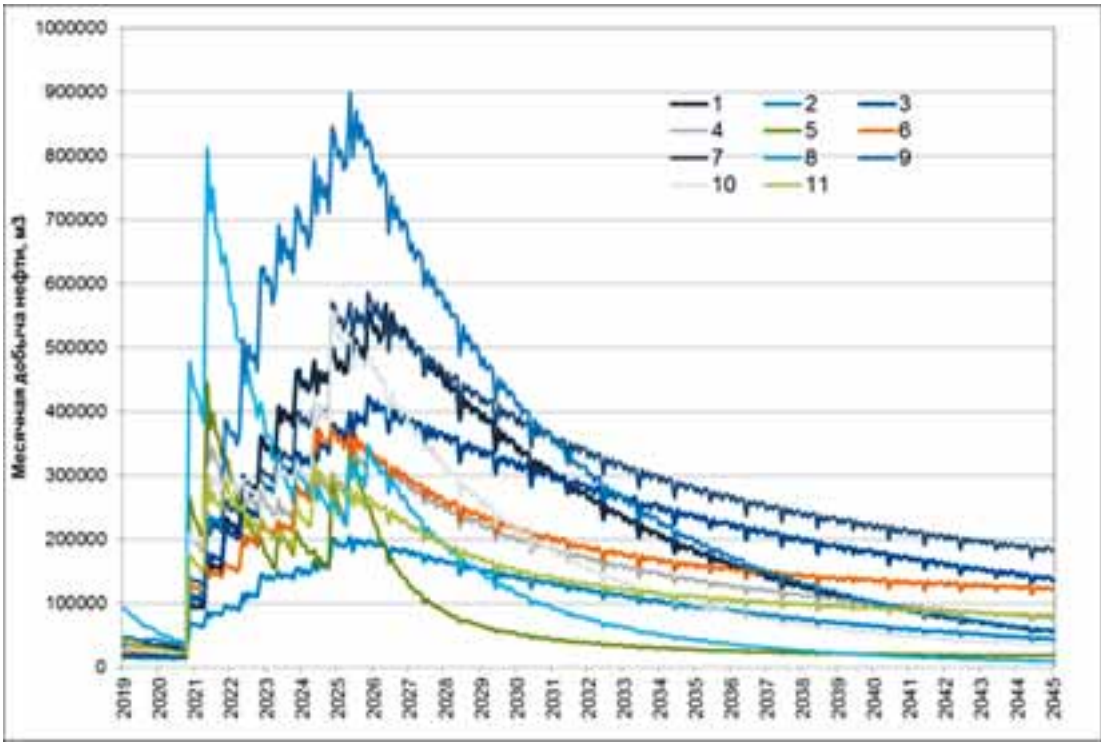
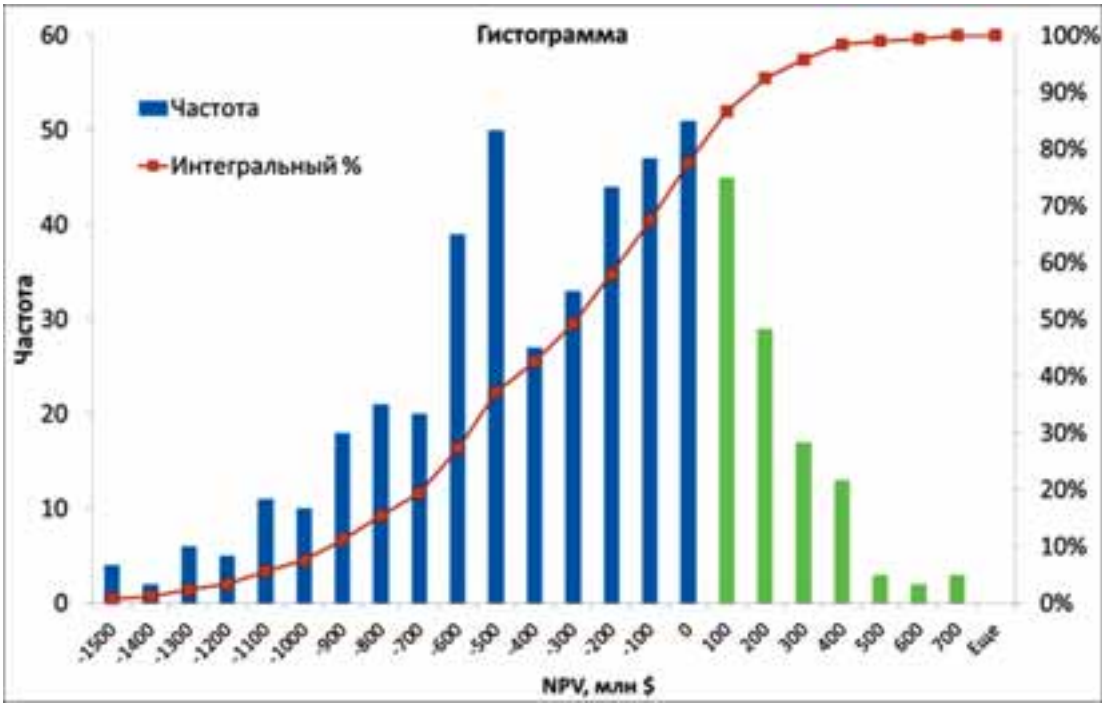


Рис. 5.
Случайные равновероятные профили добычи нефти для изучаемого месторождения, рассчитанные с использованием типовых кривых падения

этом в каждой реализации использовался свой уникальный график бурения, рассчитанный отдельно для каждой залежи для трещинной и матричной зоны для различного воз-

Рис. 6.
Результат реализации вероятностной оценки NPV (синим выделены значения NPV < 0, зеленым – NPV > 0)



можного количества буровых бригад с учётом этапа опытно-промышленных работ.

При оценке экономических показателей для каждой реализации была использована модель с учётом условий соглашения о разделе продукции, которая среди прочего включала зависимость стоимости строительства скважины от ее конструкции и типа заканчивания. Оценка инфраструктурных затрат в модели пересчитывалась в зависимости от величины пикового значения профиля добычи месторождения. Результаты 500 реализаций экономических расчётов для одной из веток дерева решений «Опции 1» приведены на ***рис. 6***.

На основе рассчитанных значений NPV для каждого исхода была оценена итоговая величина EMV проекта и VOI. Ценность информации VOI рассчитана исходя из того, как предложенные варианты программы ГРР могут повлиять на дельнейшее решение о разработке (или нет) месторождения.

Проведено ранжирование различных опций программы ГРР по величине VOI:

1. Опция № 3 – VOI = 65 млн долл.
2. Опция № 1– Опция № 3 = 56 млн долл.
3. Опция № 2 – опция № 3 = 26 млн долл.

В текущих условиях сценарии «***Опция № 1 – Опция № 3***» и «***Опция № 3***» дают наибольшую ценность по приросту информации.

Для комплексного подхода в выборе оптимальной стратегии ГРР были также учтены такие факторы как технологический риск и снятие геологических неопределенностей. Такой комплексный подход позволяет принимать взвешенное решение с учетом всех важных нюансов, которые не были полноценно учтены при составлении дерева решений. Матрица по рейтингу в каждом из факторов представлена на ***рис. 7***. Из нее видно, что вариант 1 хотя и уступает по величине VOI варианту 3, но за счёт бурения скважины по опции № 1 в купол структуры позволяет в большей степени снять структурную неопределенность по запасам, а также даст понимание о площадном распространении свойств трещиноватости, что делает данный вариант более привлекательным.

Для оценки устойчивости принятых решений проведен анализ чувствительности результатов оценки к величинам вероятностей реализации различных событий дерева решений. Основные коэффициенты в дереве решений, влияющие на оценку VOI следующие.

1. Получение притока

Коэффициент 0,8 выбран из соображений, что приток получен во всех скважинах, однако

Критерий / Опция	Ценность информации	Технический и геологический риск	Снятие геологических неопределенностей
1-3	2	1	1
2-3	3	3	2
3	1	2	2

Рис. 7.
Матрица ранжирования опций ГРР по комплексным факторам

возможны существенных технические и геологические риски.

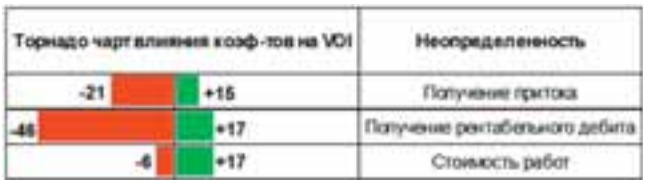
2. Получение рентабельного дебита

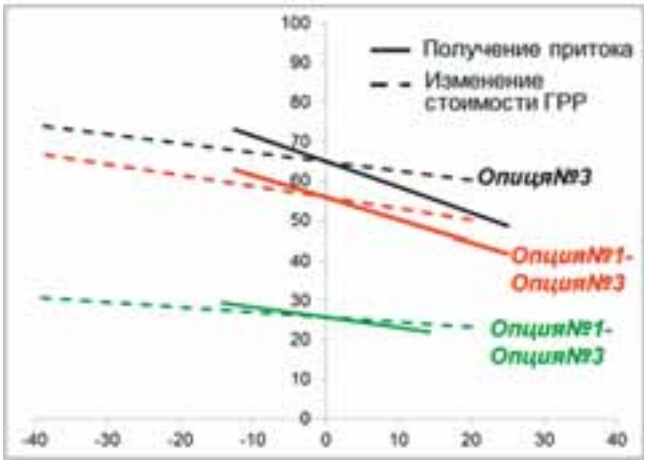
Коэффициент 0,7 выбран исходя из предположений наличия трещиной зоны по геологии и сейсмическим атрибутам, а также данным скв. Well-1.

Дополнительно учтено изменение стоимости работ согласно последним данным исследования региона и меняющейся экономической ситуации. По совокупной информации определены диапазоны варьирования всех параметров и построены «торнадо»-графики чувствительности VOI от принимаемых ко-

Рис. 8.
Результаты анализа чувствительности проекта

Критерий	max	базовый	min
Получение притока	0.9	0.8	0.6
Получение рентабельного дебита	0.8	0.7	0.3
Изменение стоимость работ ГРР	-40%	0	20%





эффициентов (***рис. 8***). Полученные данные показывают, что в любом случае VOI > 0, что лишний раз доказывает эффективность дальнейшего проведения работ на блоке для повышения ценности проекта.

Выводы

По результатам работы выполнена комплексная вероятностная геолого-экономическая оценка проекта при различных сценариях реализации программы ГРР, проведен анализ чувствительности принятого дерева решений. Ценность информации (VOI) рассчитана из предположения о том, как предложенные варианты программы ГРР могут повлиять на дальнейшее решение о начале разработки месторождения в принципе. На основании выполненных расчетов по значениям VOI, а также с учетом матрицы ранжирования по рискам и снятию геологических неопределенностей выбрана оптимальная стратегия ГРР на лицензионном блоке. Произведен анализ чувствительности выбранных коэффициентов в дереве решений, который показывает, что при любом исходе VOI > 0, это доказывает эффективность дальнейшего проведения работ на блоке для повышения ценности проекта.

Новизна работы заключается в интеграции разработанных аналитических инструментов по проведению технико-экономической вероятностно-статистической оценки актива с подходом по оценке ценности информации VOI для планирования ГРР для условий проекта с высокими неопределенностями и недостатком исходной информации.

Литература

1. Сизых А.В., Вашевник А.М., Гончаров А.С., Белозеров Б.В. Оценка эффективности и достаточности программы ГРР на примере Чонской группы месторождений //Геомодель. 2015.
2. Наугольнов М.В., Тепляков Н.Ф., Пислегин М.Н., Бородкин А.А. Создание вероятностной модели технико-экономической оценки разработки нефтяного месторождения на режиме истощения //Нефтяное хозяйство. 2016. № 2.
3. The application of the Laplace transformation to flow problems in reservoirs / SPE-949305-G. A.F. Van Everdingen, W. Hurst.
4. A Monte Carlo Approach to Value of Information Evaluation. / SPE-IPTC-11969-MS .O. Arild, H.P. Lohne, R. Bratvold

UDC 553.983

D.N. Peskova, Specialist of Middle East Project Support, Gazpromneft – NTC[1], Peskova.DN@gazpromneft–ntc.ru
M.V. Naugolnov, Senior Specialist of International and Joint–Asset Projects Section, Gazpromneft – NTC[1], Naugolnov.MV@gazpromneft–ntc.ru
D.V. Solodov, Chief of Middle East Project Support, Gazpromneft – NTC[1], Solodov.DV@gazpromneft–ntc.ru
R.A. Oshmarin, Head of Major Project Support Section, Gazpromneft – NTC[1], Oshmarin.RA@gazpromneft–ntc.ru

[1]75–79, Naberezhnaya Moika River, St. Petersburg, 190000, Russia.

Using the Probability of a Full Cycle of the Asset Valuation Using the Approach for Assessing the Value of Information (VOI) to Generate Exploration Program on the Example of one of the Deposits of the Zagros Basin

Abstract. The authors have set the aim of selection of the optimal strategy for exploration in a highly complex structural–tectonic structure and high technological risks in drilling and developing wells

Keywords: Zagros oil and gas basin; project uncertainty; valuation information; decision tree

References

1. Sizykh A.V., Vashevnik A.M., Goncharov A.S., Belozerov B.V. *Otsenka effektivnosti i dostatochnosti programmy GRR na primere Chonskoi gruppy mestorozhdenii* [Evaluating the effectiveness and adequacy of exploration program for example Chonskoy group of fields]. *Geomodel'* [Geomodel], 2015.
2. Naugol'nov M.V., Tepliakov N.F., Pislegin M.N., Borodkin A.A. *Sozdanie veroiatnostnoi modeli tekhniko-ekonomicheskoi otsenki razrabotki neftianogo mestorozhdeniia na rezhime istoshcheniia* [Creating a probabilistic model of the technical and economic assessment of the development of oil fields in the depletion mode,]. *Neftianoe khoziaistvo* [Oil Industry], 2016, no. 2.
3. The application of the Laplace transformation to flow problems in reservoirs / SPE-949305-G. A.F. Van Everdingen, W. Hurst.
4. A Monte Carlo Approach to Value of Information Evaluation. / SPE-IPTC-11969-MS .O. Arild, H.P. Lohne, R. Bratvold.