

УДК 622.2

**АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБОСНОВАНИЯ И ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ
ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ГТМ С ЦЕЛЬЮ ОГРАНИЧЕНИЯ ВОДОПРИТОКОВ**
ANALYSIS OF METHODS FOR JUSTIFYING AND MAKING DECISIONS
AT REALIZING GEOLOGICAL AND ENGINEERING ACTIONS AIMED AT
WATER INFLUX RESTRICTION

Д. С. Леонтьев, И. И. Клещенко, Д. В. Жапарова
D. S. Leontiev, I. I. Kleschenko, D. V. Zhaparova

Тюменский государственный нефтегазовый университет, Тюменский государственный университет, г. Тюмень

Ключевые слова: факторы риска; обводненность; геолого-технические мероприятия
Key words: factors of risk; water cut; geological and engineering actions

Применение принципа анализа рисков и управления проектирования геолого-техническими мероприятиями (ГТМ) с целью ограничения водопритоков в нефтяные и газовые (газоконденсатные) скважины в сочетании с новыми технологиями значительно улучшит экономические показатели от проведения ГТМ. Хотя сам риск устранить невозможно, его можно лишь существенно снизить при формировании и анализе основных факторов его возникновения. Применение принципа анализа рисков необходимо развивать и внедрять в ремонтно-изоляционные работы (РИР) в нефтяных и газовых (газоконденсатных) скважинах при разработке месторождений.

Шансы на успех ГТМ для каждой скважины-кандидата неизвестны, и они могут быть только оценены. Но способность оценивать эти шансы правильно можно определить и скорректировать путем анализа результатов ГТМ за прошлые годы, что улучшает качество оценок. Основная проблема состоит в том, что оценку ГТМ, их рентабельность и вероятность успеха производят разные специалисты в разных районах, что требует стандартизации методов оценки на уровне компаний, к тому же отдача от скважин долгосрочная и зависит от многих причин, в том числе от колебаний цен и государственной политики.

Современный анализ рисков в том виде, в каком он сейчас применяется в международной нефтегазовой практике, использует методы статистики, теории вероятностей и теории полезности, которые начали признаваться как самостоятельные разделы математики и философии еще в XVI-XVIII столетиях. Сначала развитие этих методов стимулировалось потребностями азартных игр, в дальнейшем — применением в страховом деле и производственной практике [1].

Проведение ГТМ с целью ограничения водопритоков подобно большинству бизнес-проектов представляет собой процесс повторяющихся попыток, проводимых в условиях неопределенности, причем каждая попытка требует значительных капитальных затрат.

Основные факторы риска, которые следует учитывать перед проведением РИР, следующие.

1. Геологические риски: тип залежи; режим работы залежи; анизотропия пласта-коллектора (неоднородность пласта-коллектора); тип коллектора; свойства нефти и воды (подстилаемых и нагнетаемых вод); радиус контура питания и нефтенасыщенная толщина пласта; расположение нефтеносных и водоносных горизонтов; наличие сероводорода и углекислого газа в геологическом разрезе; нали-

чие в породе трещин, дефектов сдвига и разрывов; аномально высокое пластовое давление (АВПД) и др.

2. Технические и технологические риски: профиль добывающей скважины; интервал перфорации (интервал вскрытия); создаваемая депрессия и темп отбора от начальных извлекаемых запасов; качество цементного раствора, применяемого при цементировании, и цементного камня; степень вытеснения бурового раствора тампонажным при цементировании скважины; способ перфорации и приложение ударных нагрузок; конструкция скважины и ее техническое состояние; герметизация обсадной колонны в муфтовых соединениях; качество ранее проведенных ремонтных работ; способ эксплуатации добывающей скважины; тип применяемого заводнения; давление нагнетания закачиваемой воды; расстояние между добывающими и нагнетательными скважинами; качество проведения ГРП и обработки прискважинной зоны пласта (ПЗП) и др.

Решения с учетом риска базируются на сопоставлении уровня инвестиций с тремя факторами: чистыми финансовыми активами; вероятностью успеха/неудачи; потенциальным доходом и потенциальными потерями. Эти три фактора должны определяться на основе сделанных в условиях неопределенности оценок вероятностей, определяющих наличие или возможность появления некоторых нежелательных обстоятельств.

Каждое решение при РИР связано как с риском, так и с неопределенностью. Риск следует учитывать при принятии решения о том, сколько мы согласны заплатить за дополнительную информацию о причинах обводнения скважины, принимая во внимание большое влияние предварительных затрат на прибыльность проекта.

Несмотря на то, что обширные научные исследования и практическая работа действительно способствовали успехам современных технологий водоизоляционных работ, необходимо понимать, что почти все параметры, необходимые для вычисления ожидаемой денежной стоимости эффекта от ГТМ, являются только оценками, полученными в условиях неопределенности [1].

При всей важности надежного оценивания геолого-технических параметров в большинстве современных нефтяных компаний до сих пор недостаточно внимания уделяется контролю и улучшению качества оценок. Многие организации упорно продолжают применять детерминированные оценки в виде «одного прогнозного значения». Поэтому на специалистах компаний также лежит ответственность и за финансовые последствия их геологических и технических прогнозов и оценок.

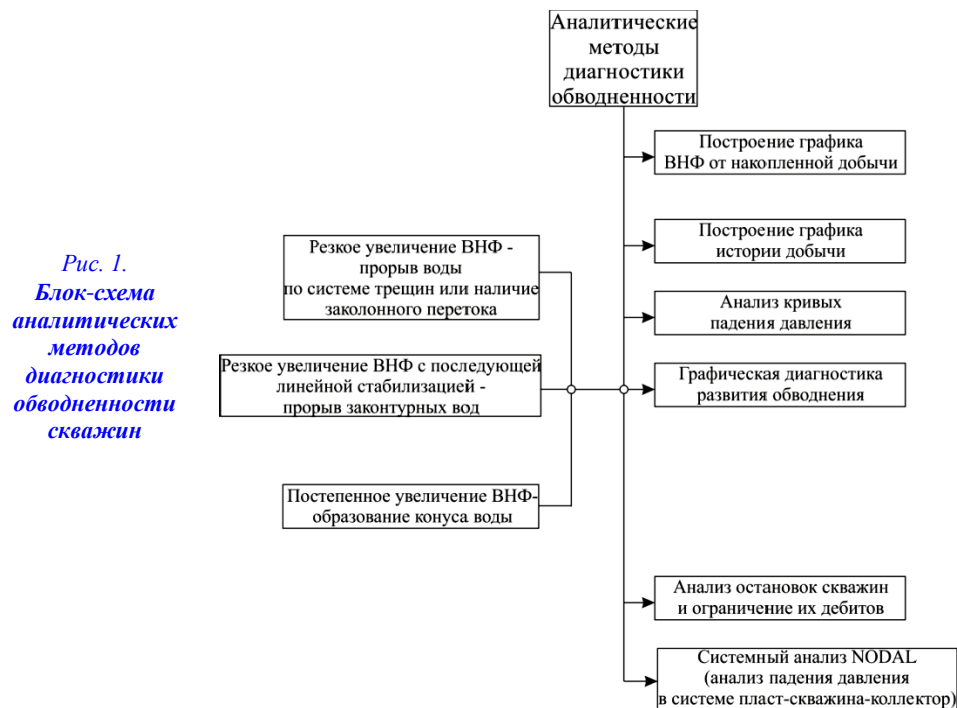
При проведении ГТМ наиболее ответственным решением является выявление сходства по геолого-техническим условиям скважин, в которых присутствует поступление воды.

Вследствие сходства типа залежи, режима ее работы, типа коллекторов, свойств нефти и воды, толщины непроницаемой глинистой перемычки, профилей скважин, интервалов вскрытия и т. д. существует возможность осуществлять экономические оценки от проведения ГТМ.

Первой задачей программы контроля за обводнением в масштабе месторождения должен быть подбор скважин-кандидатов для ограничения (ликвидации) водопритоков.

После выбора скважины-кандидата для проведения РИР необходимо провести идентификацию причин поступления пластовых вод, анализ основных факторов риска и аналитическую работу по методам диагностики обводненности (рис. 1).

Ниже будут представлены аналитические графики диагностики обводненности добывающих скважин Повховского месторождения (анализ проведен в период эксплуатации с 28.01.2005 г. по 28.06.2014 г., эксплуатационный объект БВ8).



На рис. 2 приведен пример распределения водонефтяного фактора (ВНФ) от накопленной добычи нефти скв. 106 Повховского нефтяного месторождения. Анализируя график, можно сделать вывод, что с увеличением накопленной добычи нефти растет ВНФ, и его показатель приближается к 3, а это значит, что скважина добывает «лишнюю» воду, и, следовательно, необходимо рассмотреть возможность принятия определенных мер по снижению обводненности скважины, оправданных при наличии достаточных запасов, чтобы покрыть соответствующие расходы.

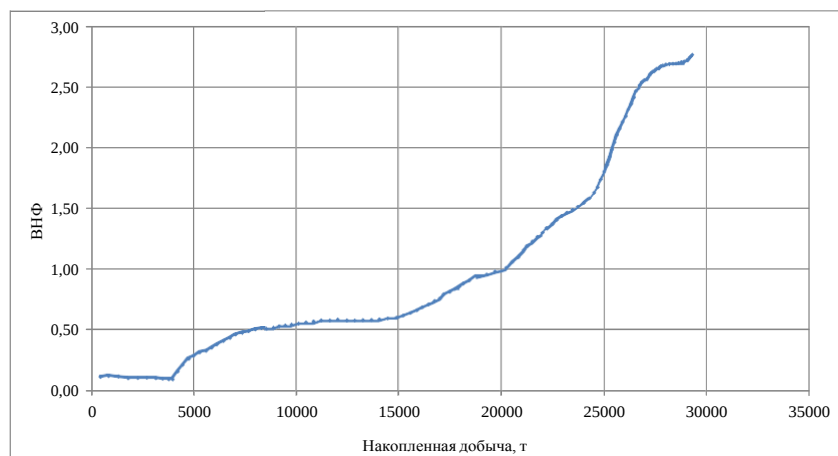


Рис. 2. Распределение ВНФ в зависимости от накопленной добычи нефти (скв. 106, Повховское месторождение, пласт БВ8)

В нормально работающих нефтяных добывающих скважинах увеличение добычи воды и уменьшение добычи нефти должно начинаться приблизительно в

одно время. На графике (рис. 3) показано распределение добычи нефти и воды во времени. У скв. 106 увеличение добычи воды и уменьшение добычи нефти начнется в один период времени эксплуатации. Это означает, что скважина начала прогрессивно обводняться и вошла в категорию скважин-кандидатов для проведения РИР.

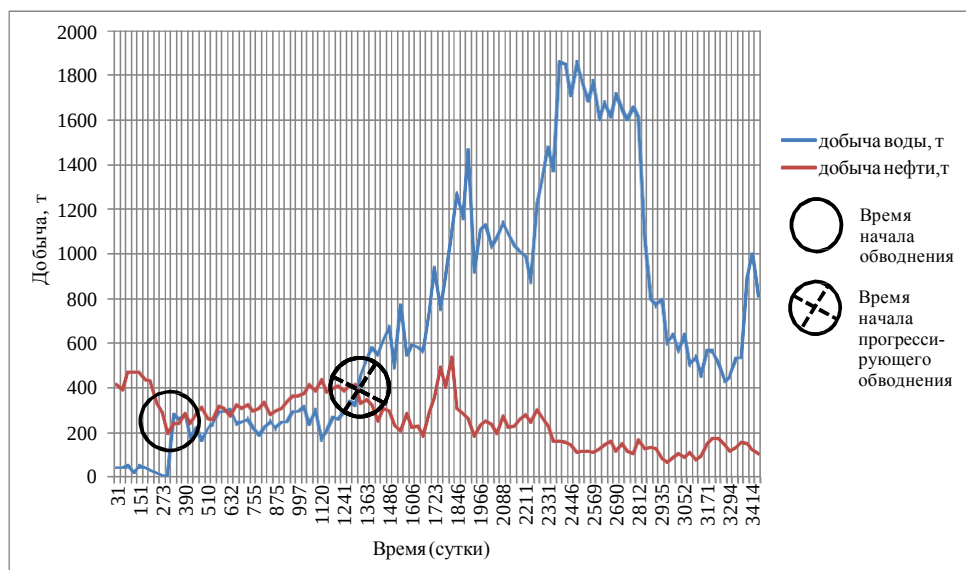


Рис. 3. Распределение добычи нефти и воды во времени (скв. 106, Повховское месторождение, пласт БВ8)

На рис. 4 показано распределение значений дебита нефти и воды в зависимости от накопленной добычи в скв. 4823 Повховского месторождения. В обычной ситуации можно ожидать наличия у этого графика прямолинейного участка. Ускоренное падение дебита по нефти может служить индикатором не только наступающего обводнения, но и падения давления в результате истощения пласта либо снижения гидравлической проницаемости прискважинной зоны.

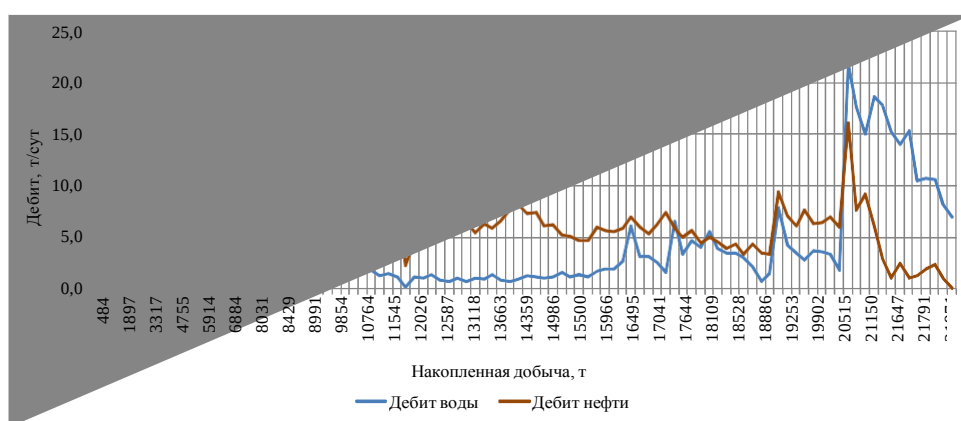


Рис. 4. Распределение дебитов нефти и воды в зависимости от накопленной добычи нефти (скв. 4823, Повховское месторождение, пласт БВ8)

Графическая диагностика развития обводнения. График зависимости ВНФ от

времени в логарифмических координатах может быть полезен для определения конкретного типа обводнения при его сравнении с кривыми, соответствующими известным моделям.

Известно, что имеются три основных типа кривых, представляющих различные механизмы прорыва воды: открытый приток по разломам, системе трещин либо по каналу за обсадной колонной; приток законтурной воды либо движение ВНК; конусообразование. Интерпретация движения законтурной воды основывается на численном моделировании и опыте эксплуатации месторождения. Помимо вышеперечисленных методов можно использовать также производную ВНФ по времени, но обычно присутствующая неопределенность в задании модели пласта и большой разброс данных промысловых измерений ограничивают применение данного метода [2, 3].

Резкое увеличение кривой ВНФ свидетельствует о прорыве воды по системе трещин, разлому или образовании канала в заколонном пространстве (рис. 5). Это может произойти на любой стадии эксплуатации скважины.

Рис. 5. Распределение ВНФ во времени при прорыве воды по каналам заколонного пространства (скв. 2738, Повховское месторождение, пласт ЮВ1-1)

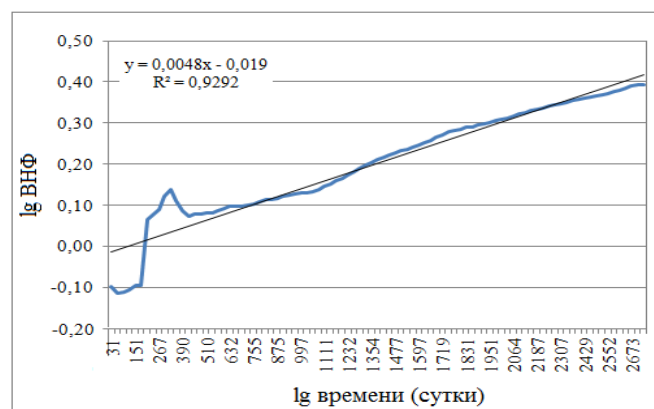


Очевидно, что примерно на 841 день эксплуатации скв. 2738 произошел прорыв воды вследствие образования канала в заколонном пространстве.

В случае если резкое увеличение кривой ВНФ в дальнейшем приобретает более плавный, линейный характер, то наиболее вероятен прорыв контурной или нагнетаемой воды по наиболее проницаемому пропластку (рис. 6).

При конусообразовании происходит постепенное увеличение ВНФ, и при стабилизации конуса обводнения кривая выполаживается (рис. 7).

Рис. 6. Зависимость ВНФ во времени при прорыве нагнетаемой воды по наиболее проницаемому пропластку (скв. 259, Повховское месторождение, пласт БВ8)



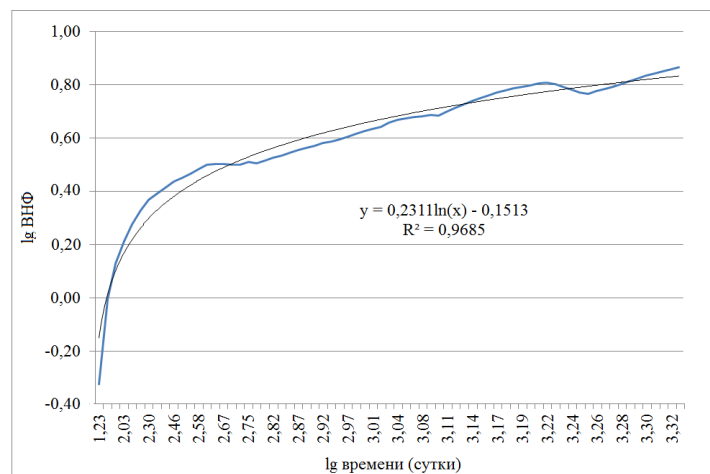


Рис. 7. Зависимость ВНФ при конусообразовании во времени (сква. 7070, Повховское месторождение, пласт Ач2)

Периоды остановок скважин, ограничений их дебитов. Данные по добыче большинства скважин включают в себя периоды остановок или ограничений дебитов. Анализ колебаний ВНФ может дать ключи к определению типа проблемы. Проблемы, связанные с притоком воды, например из-за конусообразования или наличия единичной трещины, пересекающей нижележащий водяной пласт, приведут к более низким значениям ВНФ на ограниченном дебите либо сразу после пуска скважины в эксплуатацию. И наоборот, система трещин или разлом, проходящие через перекрывающий водоносный пласт, приведут к обратному эффекту. Подобные ситуации неустойчивы в масштабе геологических времен, но могут быть искусственно созданы в ходе разработки месторождения.

В скважинах, где источник воды имеет более высокое давление, чем нефтяной пласт, ограничение дебита приводит к увеличению ВНФ. Исследование скважин путем ограничения дебита является одним из методов диагностики, позволяющим различать две вышеперечисленные ситуации.

Системный анализ NODAL (анализ падения давления в системе пласт — скважина — коллектор). Проектирование систем добычи определяется совместными характеристиками пласта и насосно-компрессорных труб в скважине или, образно говоря, «водопроводной системы» пласта.

Несмотря на то, что NODAL-анализ является стандартным методом моделирования поведения скважины, тем не менее, имеются две причины необходимости его применения: необходимость калибровки расчетных значений при наличии значительных перетоков в режиме остановленной скважины; относительно большое число вовлеченных в эксплуатацию пластов [2].

Промыслово-геофизические методы являются одними из основных способов определения источника поступления воды в скважину. Они включают все виды исследований, выполняемые в скважинах с использованием аппаратуры на каротажном кабеле или аппаратуры модульного типа, показания которой регистрируются каротажной станцией.

Геофизические исследования, направленные на выявление источника обводнения с целью дальнейшего проведения водоизоляционных работ, существенно отличаются от геофизических работ, проводимых в бурящихся необсаженных скважинах. Это связано как с наличием металлической обсадной колонны и цементного камня, ограничивающих возможности геофизических методов, так и сложным составом флюидов, насыщающих скважину.

Основными задачами при определении источника обводнения скважины при помощи геофизических методов являются: оценка технического состояния сква-

жин: целостности обсадной колонны и НКТ; определение мест негерметичности; оценка состояния цементного камня; выявление затрубной циркуляции; контроль над продвижением ВНК; контроль над продвижением фронта закачиваемой воды; выявление интервалов обводнения; оценка текущей нефтенасыщенности; уточнение работающих (отдающих и поглощающих) интервалов [3].

Для решения этих задач применяются различные модификации радиоактивных, электрических, термометрических, акустических и других методов. Основным условием эффективного использования геофизических методов является комплексирование нескольких видов исследований, позволяющее производить более надежную интерпретацию получаемых данных.

Гидродинамическое моделирование. Любой анализ заводнения в масштабе месторождения подразумевает понимание геологии и построение соответствующей гидродинамической модели. Гидродинамическое моделирование пласта, особенно его неоднородностей, крайне затруднено на начальных стадиях разработки месторождения. Но по мере накопления данных по динамике добычи неопределенность постепенно устраняется, и адекватность моделирования возрастает.

После идентификации причины поступления пластовых вод необходимо применить метод ранжирования: выбор конкретных скважин-кандидатов, которые обеспечат компании максимальную экономическую эффективность при приемлемом для компании риске.

Второй шаг представляет собой получение следующих оценок ценности ГТМ:

- анализ результатов ГТМ за прошлые периоды;
- оценка дополнительной добычи нефти;
- оценка рентабельности проведения ГТМ.

Третий шаг заключается в реализации и управлении проведения ГТМ и включает следующие задачи: стратегия проведения ГТМ — компания проведет тот или иной вид ремонта своими силами или передаст сервисной компании; разбиение операционной работы на блоки [4].

Геологический блок уточняет ФЕС пласта коллектора. *Технологический блок* уточняет параметры техники и технологии проведения РИР (параметры насосного оборудования; конструкция и геометрия канала доставки труб, инструмента; последовательность закачки и объемы продаваемых жидкостей; физические и реологические параметры вспомогательных жидкостей). *Химический блок* уточняет информацию о применении конкретного тампонажного состава и химических реагентов. *Экономический блок* осуществляет выбор лучшего варианта по результатам технико-экономического обоснования (ТЭО) [5].

Проведение водоизоляционных работ в скважине с корректировкой дизайна по результатам получения оперативной информации по скважине в ходе проведения ремонта показано на рис. 8.



Рис. 8. Блок-схема проведения водоизоляционных работ в скважине с корректировкой дизайна

В заключение необходимо отметить, что на успех того или иного геолого-технического мероприятия влияют многочисленные факторы рисков. В частности, при проведении ремонтно-изоляционных работ на успех влияют технико-технологические риски, связанные с неопределенностями (геологические риски мы здесь не будем рассматривать, так как известны запасы (ресурсы) и другие геолого-физические показатели.

Оценка рисков и правильность их оценки является заключительной фазой того или иного процесса.

При проектировании РИР используются такие взаимосвязанные понятия, как «вероятность», «риск», «неопределенность» и др.

Вероятность (В) и риск (Р) означают возможность наступления или ненаступления каких-либо событий, они являются взаимнообратимыми и измеряются в долях единицы ($V = 1 - P$) [6].

Неопределенность описывает ситуацию, при которой ожидаемый результат не может быть предсказан точно, потому что существует целый ряд возможных результатов.

Для количественного описания неопределенности оценок служат методы теории вероятностей, позволяющие получать вероятностные оценки риска.

Нами рассматриваются неопределенности РИР, обусловленные неустановленными в момент оценки фактами уменьшения или прекращения обводненности.

Получение вероятностных оценок базируется на формализации в терминах вероятности двух факторов, обуславливающих неопределенность оценок результатов РИР в нефтяных скважинах:

- неопределенность технико-технологической модели РИР;
- неопределенность результатов РИР, обусловленная неустановленным в момент оценки фактом уменьшения (прекращения) обводненности.

Определение первого фактора проводится в предположении успешного проведения РИР. В этом случае вероятностные оценки успешности характеризуются функцией плотности вероятности успеха РИР

$$f(Q) = f(\bar{Q}, \sigma^2)$$

и кумулятивной функцией распределения успеха

$$F(Q) = f(\bar{Q}, \sigma^2),$$

заданных на интервале неопределенности (Δ), где $\bar{Q}, \sigma^2$ — соответственно среднее значение и среднеквадратичное отклонение функций распределения $f(Q)$ и $F(Q)$.

Определение второго фактора производится путем моделирования неопределенных результатов РИР случайной величиной, имеющей два исхода:

- положительный — уменьшение (прекращение) поступления воды;
- отрицательный — продолжение поступления воды.

Эта случайная величина характеризуется дискретной функцией распределения вероятностей: P_y — положительный (успешный) результат РИР; P_o — отрицательный результат РИР.

Вероятности P_y и P_o связаны соотношением $P_y + P_o = 1$, то есть $P_o = 1 - P_y$ [6].

Исходя из вышесказанного, аналитическая запись вероятностных оценок результатов РИР с учетом технико-технологического риска будет иметь вид:

$$f(Q)_p = \begin{cases} P_o & \text{при } Q = 0; \\ P_y & \text{при } Q > 0; \end{cases} \quad F(Q)_p = \begin{cases} P_o + P_y F(Q) & \text{при } Q = 0; \\ P_y F(Q) & \text{при } Q > 0. \end{cases} \quad (1)$$

где $f(Q)$ и $F(Q)$ — функции распределения вероятностных оценок риска.

Оценка степени риска будет характеризоваться функциями распределения $f(Q)_p = f(Q_p, \sigma_p^2)$ и $F(Q)_p = F(Q_p, \sigma_p^2)$, где Q_p , σ_p^2 — среднее значение и дисперсия функции $f(Q)_p$ и $F(Q)_p$.

Таким образом, определение источника обводнения скважины, выявление факторов неопределенности технико-технологической модели РИР являются одним из важнейших этапов проведения водоизоляционных работ. Эта информация служит обоснованием для принятия экстренного решения по ограничению (ликвидации) водопритоков, определяет успешность проводимых работ.

Список литературы

1. Питер Р. Роуз. Анализ рисков и управление нефтегазопроисковыми проектами: Питер Р. Роуз. — М.—Ижевск: НИЦ «РХД», Ижевский институт компьютерных исследований, 2011. — 304 с.
2. Билл Бейли. Диагностика и ограничение водопритоков / Билл Бейли, Майк Крабтри, Джеб Тайри и др. // Нефтегазовое обозрение. — 2001. — Весна — С. 44-67.
3. Демахин С. А. Химические методы ограничения водопритока в нефтяные скважины: учебник / С. А. Демахин, А. Г. Демахин. — М.: Недра, 2010. — 198 с.
4. Стрижнев К. В. Разработка научно-методических основ для создания отечественного программного комплекса «РИР-проект» / К. В. Стрижнев // Нефтяное хозяйство. — 2011. — № 01. — С. 92-94.
5. Кичикова Д. В. Актуальные тенденции развития мирового и российского рынка нефти. — Тюмень: Вектор БУК. — 2011. — 118 с.
6. Андриянова М. А. Ранжирование участков недр с учетом геологического риска при решении задачи оптимизации процесса лицензирования (на примере Верхнепечорской впадины Тимано-Печорской нефтегазосной провинции) / М. А. Андриянова, В. И. Порожун, Н. М. Емельянова // «Геомодель-2011»: 13-я конференция по проблемам комплексной интерпретации геолого-геофизических данных. — Геленджик, 2011.

Сведения об авторах

Леонтьев Дмитрий Сергеевич, аспирант, ассистент кафедры «Бурение нефтяных и газовых скважин», Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень, тел. 8(3452)200989, e-mail: leonfob@mail.ru

Клещенко Иван Иванович, д. г.-м. н., профессор кафедры «Бурение нефтяных и газовых скважин», Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень, тел. 8(3452)200989

Жапарова Дарья Владимировна, аспирантка, Тюменский государственный университет, г. Тюмень

Information about the authors

Leontiev D. S., postgraduate, assistant of the chair «Drilling of oil and gas wells», Tyumen Oil and Gas University, phone: 8(3452)200989, e-mail: leonfob@mail.ru

Kleschenko I. I., Doctor of Geology and Mineralogy, professor of the chair «Drilling of oil and gas wells», Tyumen Oil and Gas University, phone: 8(3452)200989

Zhaparova D. V., postgraduate of the Tyumen State University