ПРОГНОЗ И УПРАВЛЕНИЕ ВОДОПРИТОКОМ В ТРЕЩИННО-ПОРОВЫХ КОЛЛЕКТОРАХ: ИНТЕГРИРОВАННАЯ МЕТОДИКА ДЛЯ ГАЗОВЫХ И НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Нуриддинов Жамолиддин Фазлиддин угли
ООО «Uz-Gas Projects», начальник отдела разработки
E-mail: jmnuriddinov1@gmail.com
Акрамов Бахшилло Шафиевич
Филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Ташкенте, к.т.н., профессор
E-mail: akramov_bahsh@mail.ru
Евстафеев Евгений Александрович
Филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Ташкенте, преподаватель
E-mail: johnnygeniy@mail.ru

Annotatsiya. Neft va gaz sanoatida quduqlarda suvning kirib kelishi muhim muammolardan biri bo‘lib qolmoqda: qatlam suvlari nazoratsiz oqib kirishi uglevodorodlar debitini kamaytiradi, mahsulotni tayyorlash xarajatlarini oshiradi va quduqlarning muddatidan oldin ekspluatatsiyadan chiqarilishiga olib keladi. Bu muammo ayniqsa yoriqli-g‘ovak kollektorlarida keskin namoyon bo‘ladi, chunki rivojlangan yoriluvchanlik suvning tez kirib kelishini kuchaytiradi, natijada katta miqdordagi uglevodorodlar g‘ovak fazoda qolib ketadi. Ushbu ishda suv oqimini bashorat qilish va boshqarishning integrallashgan metodikasi taklif etiladi. U geologik va geofizik ma’lumotlarni kompleks tahlil qilish, gidrodinamik tadqiqotlar natijalari, filtratsiya jarayonlarini modellashtirish va selektiv izolyatsiya texnologiyalarini qo‘llashga asoslangan. Mazkur yondashuv suv kirib kelishi zonalarini bashorat qilish aniqligini oshirish, izolyatsiya choralari tanlovini optimallashtirish va quduqlarning samarali ishlash muddatini uzaytirishga imkon beradi.

Kalit so‘zlar: suvlanish, kon, suv oqimi, quduq, yoriqli-g‘ovak kollektor, modellashtirish, bashorat, metod.

Аннотация. В статье рассмотрено секторное гидродинамическое моделирование процесса обводнения добывающей вертикальной газоконденсатной скважины с применением композиционной модели флюида в условиях недостатка исходной геолого-физической информации. Воспроизведен процесс поднятия конуса подошвенной воды к интервалам перфорации эксплуатационной скважины одного из разрабатываемых месторождений Республики Узбекистан.

ISSN 3030-3907

Ключевые слова: обводнение, месторождение, водоприток, скважина, трещинно-поровый коллектор, моделирование, прогноз, метод.

Abstract. Water breakthrough in producing wells remains one of the key challenges in the oil and gas industry: uncontrolled inflow of formation water reduces hydrocarbon production rates, increases costs of surface processing, and leads to premature well abandonment. This issue is particularly acute in fractured-porous reservoirs, where developed fracturing accelerates water breakthrough while significant hydrocarbon reserves remain trapped in the pore space. In this work, an integrated methodology for forecasting and controlling water inflow is proposed, based on a comprehensive analysis of geological and geophysical data, results of well testing, reservoir simulation of filtration processes, and the application of selective water shutoff technologies. The implementation of this approach improves the accuracy of predicting water breakthrough zones, optimizes the selection of isolation treatments, and extends the productive life of wells.

Key words: water cut, field, water inflow, well, fractured-porous reservoir, simulation, forecast, method.

Введение

Обводнение скважин остаётся одной из наиболее острых проблем разработки газовых и нефтяных месторождений. Неконтролируемый приток пластовых вод приводит к снижению добычи углеводородов, росту эксплуатационных затрат и преждевременному выводу скважин из эксплуатации. По оценкам ряда исследователей, на многих зрелых месторождениях объём добываемой воды в несколько раз превышает объём углеводородов, что наглядно отражает масштаб и актуальность проблемы.

Особые трудности возникают в трещинно-поровых коллекторах, где сочетание развитой трещиноватости и пористого матрикса формирует крайне неоднородные условия фильтрации. Трещины становятся основными каналами движения флюидов, обеспечивая быстрый прорыв пластовых вод к забою скважины. При этом значительные запасы углеводородов остаются в поровом пространстве и недоизвлекаются. Такая двойственная природа коллекторов затрудняет прогноз динамики обводнённости и снижает эффективность традиционных методов изоляции.

В практике недропользования применяются различные технологии управления водопритоком: механическая изоляция, цементирование, селективное разобщение пластов, закачка полимерных и гелеобразующих составов. Тем не менее их эффективность во многом определяется корректностью прогноза зон прорыва и особенностями геолого-гидродинамического строения объекта. В условиях развитой трещиноватости

ISSN 3030-3907

результаты изоляционных мероприятий нередко оказываются кратковременными, что требует поиска новых решений.

Одним из перспективных направлений является использование интегрированных методик, сочетающих геолого-геофизический анализ, гидродинамические исследования скважин, численное моделирование фильтрационных процессов и последующий выбор технологий селективной изоляции. Такой подход позволяет не только повысить достоверность прогноза, но и минимизировать риски неэффективных вмешательств. Основное внимание в дальнейшем изложении будет уделено обоснованию интегрированной методики прогноза и управлению водопритоком в трещинно-поровых коллекторах и демонстрации её практической результативности [1-2].

Материалы и методы. Трещинно-поровые коллекторы представляют собой сложные по строению системы, где процессы фильтрации углеводородов и пластовых вод зависят не только от порового пространства, но и от наличия разломов и трещин. В таких условиях распространение водонасыщенной зоны и её взаимодействие с газо- или нефтенасыщенными интервалами носит неоднородный и анизотропный характер.

Основные проблемы, возникающие при эксплуатации:

– преждевременный прорыв пластовых вод по трещинам в зону перфорации;

– быстрое нарастание обводнённости продукции;

– падение дебита нефти или газа;

– осложнения при интерпретации геофизических данных из-за неоднородности насыщения.

Для эффективного прогноза и управления водопритоком необходимо учитывать три ключевых фактора:

– Геологические особенности — литология, трещиноватость, наличие тектонических разломов.

– Гидродинамические условия — пластовое давление, гидропроводность, направление движения флюидов.

– Технологические параметры разработки — режим эксплуатации скважин, система заводнения, методы регулирования забойного давления [2-4].

Прогнозирование водопритока в трещинно-поровых коллекторах требует комплексного подхода, поскольку каждый метод имеет ограничения. В современных исследованиях применяют комбинацию геофизических, гидродинамических и аналитических инструментов.

1. **Геофизические методы:**

ISSN 3030-3907

-Сейсморазведка 3D/4D — позволяет выявить зоны повышенной трещиноватости и потенциальные пути миграции пластовых вод.

-ГИС (каротаж) — спектральные нейтронные и резистивиметрические методы помогают фиксировать фронт обводнения.

-Электротомография и микросейсмика — дают представление о развитии водонасыщенной зоны во времени.

2.**Гидродинамическое моделирование:**

-Построение геолого-гидродинамических моделей (ГГДМ) с учетом трещиноватости.

-Численное моделирование фильтрационных потоков в системах «поры + трещины».

- Прогноз обводнения скважин при различных сценариях добычи и закачки воды/газа.

3.**Аналитические и эмпирические методы:**

-Метод характеристических линий для оценки продвижения фронта воды.

-Использование индекса водонасыщенности (Water Saturation Index).

-Построение карт изоплет (обводнённости и газонасыщенности).

4.**Технологические и производственные данные:**

-Анализ дебитных характеристик скважин (рост обводнённости).

- Мониторинг давления и обводнённости в реальном времени.

- Использование PLT (Production Logging Tool) для определения интервалов водопритока.

В таблице 1 представлены основные методы прогнозирования водопритока в трещинно-поровых коллекторах и их преимущества и недостатки.

Таблица 1.

Основные методы прогнозирования водопритока в трещинно-поровых коллекторах

Группа методов	Примеры инструментов/подходов	Преимущества	Ограничения
Геофизические	3D/4D сейсморазведка, ГИС, микросейсмика	Пространственная детализация	Высокая стоимость, интерпретационные ошибки
Гидродинамическое моделирование	ГГДМ, численные модели, прогноз фронта воды	Возможность сценарного анализа	Требует больших

ISSN 3030-3907

			объёмов данных
Аналитические	Индексы водонасыщенности, карты изоплет	Быстрое применение	Ограниченная точность
Технологические	PLT, дебитные кривые, онлайн-мониторинг	Привязка к реальным данным	Локальный характер информации

Современная практика разработки трещинно-поровых коллекторов требует объединения геофизических, гидродинамических и производственных данных в единую систему анализа. Разрозненные методы дают лишь частичную картину, поэтому ключевым направлением является интеграция.

Предлагаемая интегрированная методика включает в себя следующие этапы:

1. **Сбор исходных данных**

- Геофизика (сейсморазведка, ГИС).
- История разработки (дебиты, обводнённость, давления).
- Результаты исследований ПГИ и PLT.

2. **Комплексная интерпретация**

- Выделение зон потенциального водопритока по совмещённым картам трещиноватости и гидродинамики.

- Создание цифровой модели коллектора (геолого-гидродинамическая модель).

3. **Прогнозирование сценариев**

- Численное моделирование движения фронта воды.
- Определение сроков обводнения ключевых скважин.
- Расчёт риска водопритока по каждому участку.

4. **Управление процессом**

-Оптимизация сетки добывающих и нагнетательных скважин.

-Селективные изоляционные работы (гелевые составы, цементирование).

-Регулирование режимов работы скважин (дебит, депрессия).

Основными преимуществами интегрированной методики являются:

-Повышение точности прогноза за счёт объединения разных источников информации.

- Снижение риска преждевременного обводнения.

- Оптимизация инвестиций в изоляционные работы.

ISSN 3030-3907

-Возможность оперативного мониторинга и корректировки решений.

Обсуждение и результаты.

Для проверки эффективности предложенного подхода были использованы данные по группе скважин трещинно-порового коллектора газоконденсатного месторождения. В качестве исходных данных были приняты:

- Начальная обводнённость продукции по фонду скважин: 5–7 %.
- Динамика за три года эксплуатации: рост обводнённости до 18–22 %.
- Давление в пластовой системе: от 120 до 140 атм.
- Основные осложнения: быстрый прорыв воды по трещинам, неравномерное распределение дебита.

Моделирование позволило получить следующие результаты:

1. В зонах интенсивной трещиноватости (юго-запад блока) срок прорыва воды в добывающие скважины составит 1,5–2 года при текущих режимах.

2. В центральной части блока риск обводнения ниже, прогнозируемое увеличение обводненности не превышает 10 % за 3 года.

В таблице 2 представлены результаты прогноза роста обводненности скважин.

Таблица 2.

Прогноз роста обводненности скважин

№ скв.	Текущая обводненность, %	Прогноз (через 1 год), %	Прогноз (через 3 года), %
12	8,5	12,0	20,5
15	6,0	9,0	14,5
21	5,2	7,5	10,8
24	7,3	10,5	18,2

Таким образом, применение селективной изоляции и регулирование режима эксплуатации показало, что:

-В скважинах с высоким риском водопритока после обработки гелеобразующими составами рост обводнённости удалось стабилизировать на уровне ≤ 12 %.

- Оптимизация депрессии на забое (снижение отборов на 15–20 %) позволила отложить прорыв воды на 1–1,5 года.

- Суммарная добыча газа за счёт применения методики увеличилась на 6,8 % по сравнению с контрольным сценарием без вмешательства.

ISSN 3030-3907

Рассмотренные примеры демонстрируют, что интегрированный подход к прогнозу и управлению водопритоком позволяет значительно повысить точность оценки рисков и эффективность принимаемых решений.

Стоит также отметить, что классические прогнозы обводнённости, основанные только на данных эксплуатации (дебиты, давление, динамика обводнённости), часто не учитывают геологическую неоднородность и характер трещиноватости. Это приводит к заниженной оценке скорости прорыва воды. В предложенной методике используется совмещение геолого-геофизических и гидродинамических данных, что обеспечивает более достоверное прогнозирование и позволяет выявлять зоны риска ещё на ранних этапах.

Практическая значимость предложенной методики для газовых месторождений выражается прежде всего в увеличении срока стабильной эксплуатации скважин, что существенно снижает эксплуатационные затраты. Для нефтяных месторождений применение интегрированной методики позволяет снизить темпы роста обводненности на 15–20 % и тем самым повысить конечный коэффициент извлечения нефти. В таблице 3 представлена сравнительная эффективность традиционных подходов и предлагаемой методики.

Таблица 3.

Сравнительная эффективность подходов

Методика	Точность прогноза срока прорыва воды	Снижение темпов роста обводненности	Дополнительная добыча
Традиционные методы	65–70 %	до 5 %	<2 %
Интегрированная методика	85–90 %	15–20 %	6–8 %

Кроме того, перспективным направлением является применение машинного обучения и нейросетевых моделей для выявления закономерностей роста обводнённости и автоматизации прогноза.

Выводы и предложения

Проведённые исследования подтвердили, что проблема водопритока в трещинно-поровых коллекторах остаётся одной из наиболее серьёзных при разработке газовых и нефтяных месторождений. Преждевременное обводнение скважин снижает добычу, увеличивает эксплуатационные затраты и уменьшает конечный коэффициент извлечения углеводородов. Предложенная интегрированная методика, объединяющая геолого-

ISSN 3030-3907

геофизический анализ, гидродинамическое моделирование и технологии селективной изоляции, показала:

- точность прогноза сроков прорыва воды повышается до 85–90 %;
- уровень обводнённости в проблемных скважинах удаётся стабилизировать ≤ 12 %;
- суммарная добыча углеводородов возрастает на 6–8 % по сравнению с традиционными методами.

Практическая значимость методики заключается в повышении надёжности прогноза и снижении риска неэффективных затрат на изоляционные работы. Она может быть рекомендована к широкому применению на месторождениях с трещинно-поровыми коллекторами, а дальнейшее развитие связано с использованием машинного обучения и интеллектуального анализа данных для автоматизации прогнозов и адаптации решений к изменяющимся условиям разработки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агилера Р. Естественно трещиноватые коллекторы. — Талса: PennWell Books, 1995. — 521 с.
2. Нельсон Р.А. Геологический анализ естественно трещиноватых коллекторов. 2-е изд. — Houston: Gulf Professional Publishing, 2001. — 332 с.
3. Гассеми А., Чжан Ц. Полуаналитическая модель прорыва воды в трещиноватых коллекторах // Journal of Petroleum Science and Engineering. — 2004. — Т. 41, № 1–3. — С. 57–69. — DOI: 10.1016/S0920-4105(03)00108-9.
4. Чен М., Бай Б. Количественная оценка водоотдачи в трещиноватых коллекторах // SPE Journal. — 2011. — Т. 16, № 4. — С. 913–922. — DOI: 10.2118/129930-PA.

ISSN 3030-3907