

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ ОСВОЕНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ СКВАЖИН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИМУЛЯТОРА ТЕРМОГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

А.Ш. Рамазанов¹, Р.А. Валиуллин¹, Т.Р. Хабиров¹, Р.Ф. Шарафутдинов¹, И.Г. Низаева¹, Ф. И. Ибадов²

¹ Уфимский университет науки и технологий, Российская Федерация

² SOCAR, Азербайджан

Ключевые слова: *термометрия, скважина, термосимуляторы, количественная интерпретация, искусственные источники тепла*

Введение

Геофизический контроль за разработкой месторождения включает в себя решение таких задач, как определение интервалов и состава притока из продуктивных пластов, выявление зон прорыва газа или воды, оценка технического состояния скважины (определение мест негерметичности колонны и интервалов заколонных перетоков). В условиях многофазного потока, низких дебитов, неоднородного пласта, сложной конструкции скважины решение данных задач существенно осложняется. Поэтому использование новых подходов в комплексе с традиционными методами позволяет получать более качественный и достоверный результат.

Одним из таких подходов является использование при интерпретации данных промыслово-геофизических исследований термогидродинамических симуляторов, основанных на математических моделях процессов в пластах и стволе скважины. Симуляторы позволяют подтвердить результаты традиционной интерпретации на качественном уровне, а также получить количественные параметры, такие как индивидуальные дебиты пластов в многопластовой скважине, дебит заколонного перетока, параметры загрязнения призабойной зоны и др., а также планировать исследования скважин.

Для скважин, оборудованных постоянными системами мониторинга, например, оптоволоконным кабелем, моделирование температурного поля является единственным методом получения количественных параметров.

На сегодняшний день известно несколько технологий решения конкретных задач по данным термических или термогидродинамических исследований скважин, например:

- Определение интервалов притока–достаточно регистрации термограммы в работающей скважине.

- Определение заколонных перетоков – регистрируют квазистационарную термограмму в работающей скважине и несколько термограмм в остановленной скважине либо серию термограмм в период нестационарного теплового поля после вызова притока.

- Определение индивидуальных дебитов в многопластовой скважине – замер квазистационарного распределения температуры и несколько термограмм после изменения режима работы скважины, либо фоновый замер в простаивающей скважине и серия термограмм после пуска в работу.

- Определение профиля поглощения в многопластовой нагнетательной скважине – прекращение закачки на время около суток, замер термограммы вдоль ствола скважины, кратковременная закачка, регистрация температуры в точке над пластами, прекращение закачки и замер серии термограмм в остановленной скважине.

- Определение распределения проницаемости в прискважинной зоне пласта, определение радиуса зоны загрязнения – изменение режима работы (пуск в работу, изменение дебита), регистрация давления и температуры во времени против пластов или регистрация серии термограмм и барограмм в интервале исследуемых пластов.

Перспективным инновационным методом, основанном на создании в скважине искусственного теплового поля, является метод активной термометрии. Путем непосредственного индукционного нагрева небольшого участка обсадной колонны создается дополнительная (к суще-

ствующим) температурная аномалия. Анализ динамики ее расформирования во времени, распространения вне нагретого участка по жидкости в стволе скважины и по обсадной колонне позволяет повысить эффективность и достоверность количественных определений. Для применения индукционного воздействия при количественной оценке расхода скважинной жидкости и заколонных перетоков также сегодня востребован термосимулятор.

История количественной интерпретации в скважинной термометрии

Первые промыслово-геофизические исследования были термические исследования и они были выполнены в Азербайджане в 1906 году. Ученый геолог Д.В. Голубятников с помощью максимального термометра на Апшеронском полуострове провел систематические измерения температуры в различных скважинах. Эти исследования проводились с целью выяснения, какие задачи можно решать с помощью скважинной термометрии. Сохранились отчеты, из которых видно, что были определены задачи: выявление притоков, интервалов прорыва газа, выявление заколонных перетоков. Эти задачи для термометрии актуальны и по сегодняшний день. Таким образом, можно констатировать, что родиной промысловой геофизики в мире является Азербайджан, а термические исследования почти на 20 лет опередили исследования братьев Шлюмберже электрическими методами.

Следующее знаменательное для термометрии событие происходит в 1940 году (тоже в Азербайджане), в журнале Азербайджанское нефтяное хозяйство были опубликованы три статьи Б.Б. Лапука [1, 2, 3], посвященные проявлению термодинамических эффектов при фильтрации в пористых пластах сырой нефти, газа и газированной нефти. Были даны оценки ожидаемых температурных изменений и предложены пути их практического использования. Эти работы опередили свое время, еще не было термометров для регистрации в нефтяных скважинах аномалий температуры в десятые доли градуса, но они составили теоретическую основу метода высокочувствительной термометрии.

В 50-е годы скважинная термометрия развивается как метод искусственного теплового поля

[4], наблюдение за релаксацией нарушенного, например, промывкой ствола скважины теплового поля рекомендуется для литологического расчленения разреза. Были разработаны алгоритмы количественной интерпретации нестационарных термограмм для определения тепловых свойств горных пород.

Современная термометрия, термометрия действующих скважин, высокочувствительная термометрия появилась в начале 60-х годов благодаря трудам и энтузиазму таких ученых, как Чекалюк Э.Б. (Украина) [5], Требин Г.Ф. и Капырин Ю.В. (ВНИИнефть, Москва), Непримеров Н.Н. и Марков А.И. (КГУ, Казань). Ими были разработаны теоретические вопросы, методика термических исследований в действующей скважине и интерпретации, разработаны термометры с разрешающей способностью в 0,01 К. Чекалюк Э.Б. разработал метод термозондирования прискважинной зоны пласта по изменению во времени температуры.

В 70-е годы в термометрии происходят два знаменательных события. Появляется скважинный термометр-манометр для одновременной регистрации давления и температуры. В Сургуте (Западная Сибирь) Закусило Г.А. и Балакиров Ю.А. проводят большой объем термогидродинамических исследований (ТГДИ) в остановленных фонтанных скважинах. Цель этих исследований – определение распределения проницаемости в прискважинной зоне пласта и радиуса зоны загрязнения. Второе знаменательное событие – в 1971 году по совету Непримерова Н.Н. в Башкирском государственном университете на специализации Геофизика под руководством Дворкина И.Л. начинаются исследования по развитию теории, методики и аппаратуры термометрии действующих скважин. Позднее здесь же развивается новое направление, термометрия переходных процессов при освоении скважин.

В 90-е годы новый толчок развитию ТГДИ дали исследования в Сургут НИПИ с регистрацией давления температуры при испытании пластов с помощью струйных насосов. Решалась задача по определению фазового состава притока по величине адиабатического эффекта и оценка удельного дебита по темпу изменения температуры притекающего из пласта флюида.

В 2000-е годы наблюдается заметный рост

интереса во всем мире к термометрии, к количественной интерпретации данных термометрии. Создаются научные группы в Стенфорде (Duru O., Horn R.N.), в Texas A&M (Hill A.D., Ehlig-Economides C.A.), в университете Heriot-Watt (Muradov Kh.) и др. Подробный обзор работ этих групп имеется в публикациях [6-8]. Интерес был обусловлен потребностью практики: появились новые средства регистрации температуры (DTS, распределенные датчики для мониторинга состояния скважины) и нужно было определиться, какие задачи можно решить с помощью термометрии.

На кафедре геофизики Уфимского университета по заданию Московского научного центра фирмы Шлюмберже исследования по разработке термосимулятора проводились с 2002 года и к 2009 году мы им передали первый симулятор термогидродинамических процессов в многопластовой скважине. Симулятор (двухфазный, 2D r-z) используется как исследовательский для решения прямых задач, для планирования исследований и для решения обратных задач, для количественной интерпретации.

пьютерной программы. Задав параметры моделей, задав историю изменения дебита скважины или изменения забойного давления, на выходе получаем модельные распределения температуры (по глубине или в точке во времени), давления и дебитов из отдельных пластов. Количественная интерпретация, решение ОЗ сводится к подбору некоторых параметров модели (например, проницаемости пластов, скин-факторы) из условия минимизации невязки между измеренными и смоделированными распределениями температуры в скважине.

На рис.1 показан пример моделирования исследований при компрессорном освоении скважины. Параметры для двух пластов подбирались по минимуму функционала, включающего невязки для термограммы в режиме нагнетания, притока и кривой изменения температуры во времени, зарегистрированной в точке выше интервалов притока. В результате удалось оценить суммарный дебит, соотношение индивидуальных дебитов, а также проницаемость и скин-фактор для нижнего интервала.

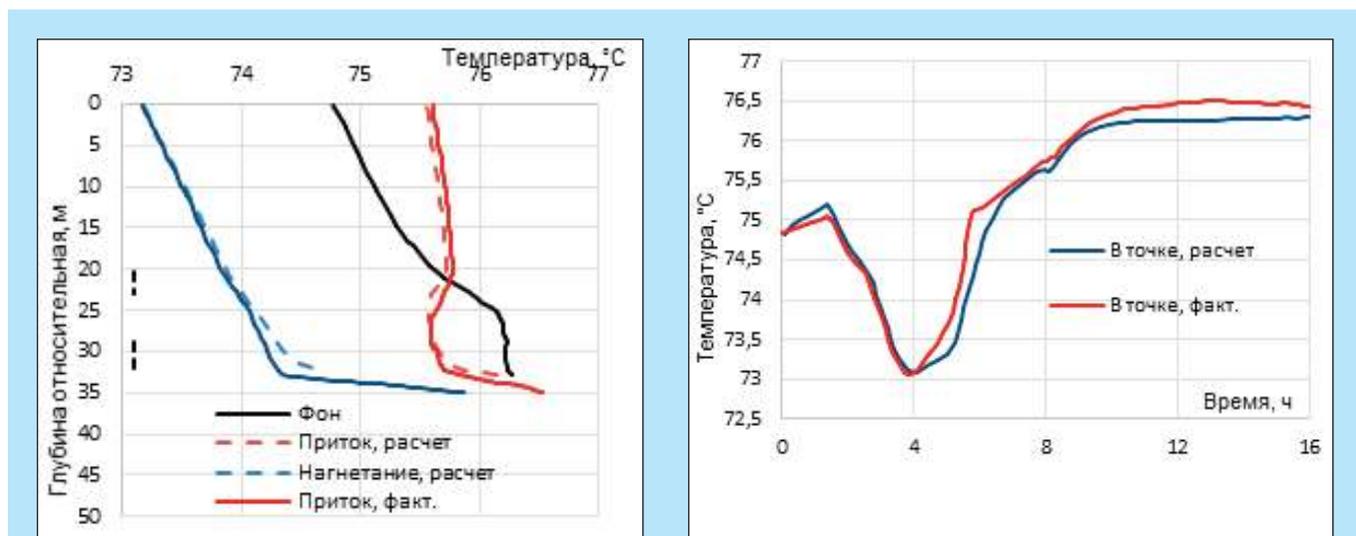


Рис.1. Использование симулятора при количественных исследованиях в процессе компрессорного освоения нефтяной скважины [6].

Количественная интерпретация термических исследований

Симулятор термогидродинамических процессов представляет собой связанные математические модели процессов в пластах, стволе скважины и в окружающих скважину породах, реализованные в виде готовой для расчетов ком-

На рис.2 показаны изменение давления и температуры при испытании пласта с помощью струйного насоса. Один контейнер с автономными приборами был установлен в хвостовике напротив нижнего перфорированного интервала, а остальные - выше обоих интервалов. Подобные температурные данные имеют особую ценность,

так как они в значительной мере определяются свойствами нефтяного пласта, а не процессами теплообмена между потоком скважинного флюида и окружающими породами. Скважина испытана на трех режимах по три часа при устьевых давлениях нагнетания 60, 75 и 85 атм. После пер-

чих гипотез. Симуляторы используются для определения параметров прискважинной зоны пластов и индивидуальных дебитов в многопластовой скважине, в том числе, для определения дебитов заколонных перетоков в добывающих и нагнетательных скважинах.

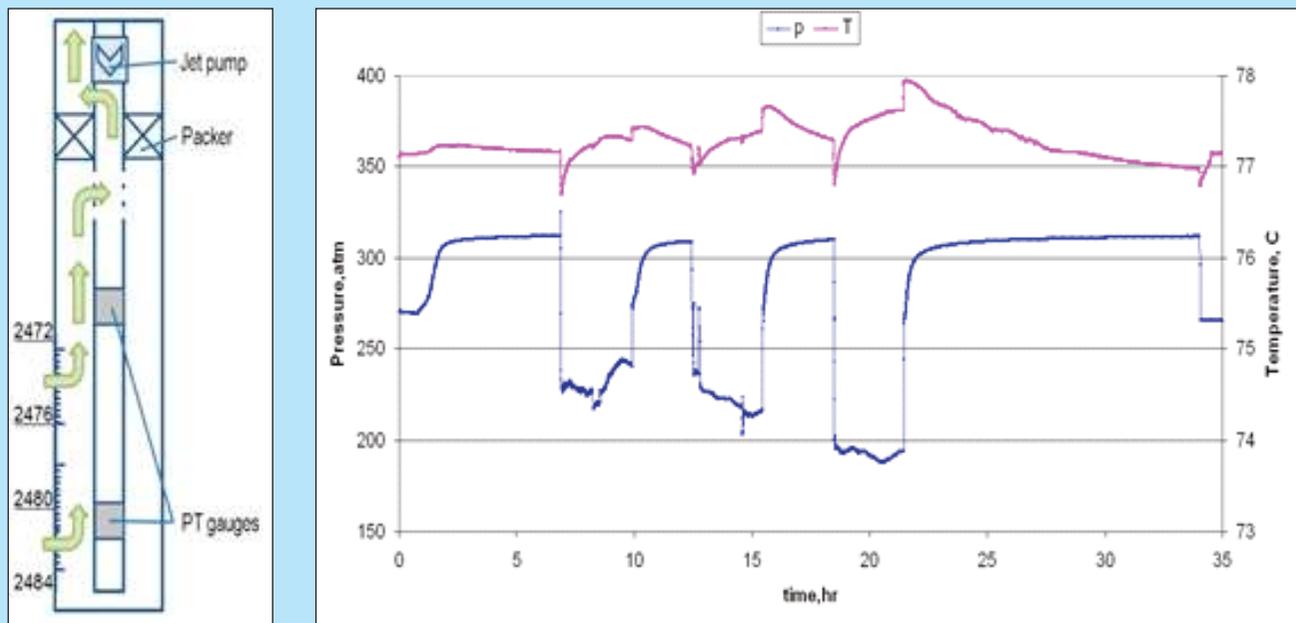


Рис.2. Схема испытания скважины и размещения датчиков (слева); давление и температура, измеренные нижним прибором во время испытания (справа) [7].

вого и второго режима притока скважина была остановлена на три часа. После третьего режима – на 12 часов для записи кривой восстановления давления (КВД).

По результатам моделирования на симуляторе были определены следующие оптимальные параметры: радиус нарушенной зоны в ПЗП составляет 0,55 м, скин-фактор пласта $s=8$ и подвижность флюида в пласте 7,8 мД/сПз.

Выводы

1. Разработаны математические модели термогидродинамических процессов в системе скважина – пласты для однофазных и многофазных потоков нефти, воды и газа.
2. Разработаны и опробованы эффективные симуляторы для расчета распределений давления, расходов фаз и температуры в системе.
3. Температурные симуляторы используются в практике традиционных ПГИ для планирования термических исследований, для проверки рабо-

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ланук Б.Б. (1940). Термодинамические процессы при движении газированной нефти в пористых средах. Азерб. нефтяное хозяйство, № 12.
2. Ланук Б.Б. (1940). О термодинамических процессах при движении газа в пористых пластах. Нефтяное хозяйство. - 1940. - №3.
3. Ланук Б.Б. (1940). О температурных изменениях при движении сырой нефти в пористых пластах. Нефтяное хозяйство. - 1940. - №4, 5.
4. Дахнов В.Н., Дьяконов Д.И. (1952). Термические исследования скважин. М.: Гостоптехиздат.
5. Чекалюк Э.Б. (1965). Термодинамика нефтяного пласта. М.: Недра.
6. Рамазанов А.Ш., Валиуллин Р.А., Садретдинов А.А., Шако В.В., Пименов В.П., Федоров В.Н., Белов К.В. (2010). Термогидродинамические исследования в скважине для определения пара-

метров прискважинной зоны пласта и дебитов многопластовой системы. SPE 136256-RU.

7. Валиуллин Р.А., Рамазанов А.Ш., Садретдинов А.А., Шарафутдинов Р.Ф., Шако В.В., Сидорова М., Крючатов Д.Н. (2014). Количественная интерпретация нестационарных темпе-

ратурных данных в многопластовой скважине на основе температурных симуляторов. SPE 171233-RU, М., – 24 с

8. Рамазанов А.Ш. (2022). Аналитические модели в скважинной термометрии: Уч. пос. М.: НИЦ ИНФРА-М, -172 с. DOI: 10.12737/1568658.

A.Ş.Ramazanov, R.A.Valiullin, T.R.Xabirov, R.F.Şarafutdinov, İ.Q.Nizayeva, F.İ.İbadov
TERMOHİDRODİNAMİKİ PROSESLƏRİN MODELƏŞDİRİLMƏSİ İLƏ QUYULARIN
İSTİSMARI ZAMANI MƏLUMATLARIN KƏMİYYƏT ANALİZİ

XÜLASƏ

Məqalədə quyularda istilik və termohidrodinamik tədqiqatların kəmiyyət şərhilə bağlı məsələlər araşdırılır. Quyularda temperaturun ölçülməsinin kəmiyyət şərhinə yanaşmalar təqdim olunur, laylarda və quyularda termohidrodinamik proseslərin riyazi modelləri, temperatur simulyatorlarının işlənilməsi hazırlanması təcrübəsi və interpretasiya işlərində tətbiqi müzakirə olunur.

Temperatur simulyatorları ənənəvi PLT təcrübəsində hasilat və suvurma quyularında istilik tədqiqatlarının planlaşdırılması, işçi fərziyyələrin sınaqdan keçirilməsi və interpretasiya nəticələrinin təsdiqlənməsi, layların quyuya yaxın zonasının parametrlərini və çoxlaylı quyularda fərdi axın sürətlərini təyin etmək üçün istifadə olunur. Bəzi problemləri həll edərkən, maksimum məlumat əldə etmək məqsədilə, məlumatlar PLT üçün xüsusi hazırlanmış metodologiyadan istifadə etməklə əldə edilməlidir.

A.Sh.Ramazanov, R.A.Valiullin, T.R.Khabirov, R.F.Sharafutdinov, I.G.Nizaeva, F.I.Ibadov
QUANTITATIVE INTERPRETATION OF RESEARCH DURING THE DEVELOPMENT AND
OPERATION OF WELLS USING A SIMULATOR OF THERMOHYDRODYNAMIC
PROCESSES

ABSTRACT

The article examines issues related to the quantitative interpretation of thermal and thermohydrodynamic studies in wells. A vision of approaches to the quantitative interpretation of temperature measurements in wells is presented, mathematical models of thermohydrodynamic processes in reservoirs and wellbore are discussed, experience in the development of temperature simulators and their application in interpretation.

Temperature simulators are used in the practice of traditional PLT in production and injection wells for planning thermal studies, for testing working hypotheses and validating the results of interpretation, for determining the parameters of the near-wellbore zone of reservoirs and individual flow rates in a multilayer well, including for quantitative assessment of behind-the-casing flows. When solving some problems, in order to achieve maximum information content, the data must be obtained using a specially developed methodology for PLT.