

Программное обеспечение ПО_обработка для определения заколонных перетоков методом активной термометрии

И. В. КАНАФИН – к.ф.-м.н., доцент кафедры геофизики ФГБОУ ВО «УУНиТ», vradlik@gmail.com

Р. Ф. ШАРАФУТДИНОВ – д.ф.-м.н., профессор кафедры геофизики ФГБОУ ВО «УУНиТ», gframil@inbox.ru

Р. А. ВАЛИУЛЛИН – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой геофизики ФГБОУ ВО «УУНиТ», valra@geotec.ru

Т. Р. ХАБИРОВ – к.ф.-м.н., доцент кафедры геофизики ФГБОУ ВО «УУНиТ», khabirovtr@mail.ru

В. В. БАЖЕНОВ – к.т.н., главный геолог НТУ ООО «ТНГ-Групп», tng@tng.ru

А. И. ИМАЕВ – начальник НТУ ООО «ТНГ-Групп», tng@tng.ru

В данной работе предложены алгоритмы определения каналов заколонного перетока по анализу формирования и движения тепловой метки, создаваемой индукционным нагревателем в аппаратуре активной термометрии. Разработанное программное обеспечение позволяет в реальном времени получать данные с распределенных датчиков температуры. Рассмотрены результаты испытания на специально разработанной для этого экспериментальной установке – модели вертикальной скважины с имитацией каналов заколонного перетока. Проанализированы результаты экспериментов с кратковременным локальным нагревом колонны и регистрацией формирования температурного поля стенки колонны азимутально распределенными прижимными датчиками температуры в аппаратуре активной термометрии.

Ключевые слова: активная термометрия, индукционный нагрев, тепловая метка, заколонная циркуляция, термометрия

Технология активной термометрии является перспективным и эффективным направлением развития методов диагностики состояния скважины и пласта [1,2]. На сегодняшний день количество нефтяных скважин с долей воды в скважинной продукции постоянно растет. Используемый для решения данной проблемы метод традиционной термометрии является слабо эффективным в большинстве случаев, особенно при заколонных перетоках «сверху». Таким образом указанная проблемы обладает высокой значимостью и актуальностью.

Эффективность активной термометрии достигается за счет создания в стволе скважины тепловой метки и наблюдения за ее формированием и расформированием. Для этого используется индукционный нагреватель, который производит локальный кратковременный нагрев обсадной колонны.

При этом осуществляется регистрация температуры стенки скважины азимутально распределенными прижимными датчиками температуры, что

позволяет сканировать процессы, происходящие в заколонном пространстве. Проведенные ранее экспериментальные исследования показали, что описанный выше подход является эффективным для решения выявления заколонных перетоков и позволяет определять наличие движения жидкости в заколонном пространстве в том числе и по отдельным каналам перетока [3].

В последние годы учеными кафедры геофизики Уфимского университета были успешно проведены исследования в данной области и достигнуты значительные результаты [4-5]. Была разработана аппаратура активной термометрии со встроенным индукционным нагревателем и азимутально распределенными прижимными датчиками температуры.

Совместно с аппаратурой было разработано программное обеспечение **ПО_обработка**. Программа предназначена для расчета расходных параметров флюида в обсадной колонне и канале заколонного перетока (при его наличии), интервалов притока (работающие пласты/негерметичность колонны) и заколонного движения жидкости, на основе данных многодатчикового термометра, регистрируемых в процессе проведения исследований методом активной термометрии с применением индукционного нагревателя.

Программное обеспечение имеет удобный интерфейс, гибкую систему настроек, встроенные алгоритмы обработки температурных данных, графическое представление накопленных промысловых данных, возможность программного управления индукционным нагревателем.

Описание ПО_обработка

Аппаратура активной термометрии позволяет в реальном времени управлять работой индукционного нагревателя, а также передавать данные с распределенных датчиков температуры на поверхность. Для этого используется следующая схема связи (рис. 1).

Аппаратура активной термометрии подключается к каротажному регистратору, например, Вулкан. И далее получаемые потоки данных с аппаратуры транслируются в разработанное нами программное обеспечение для удобной визуализации и обработки данных. Накопленные данные **ПО_обработка** позволяет сохранять в формате LAS или в формате программы системы ПРАЙМ – WS. Также в программе алгоритма реализована возможность дистанционного программного управления блоком питания

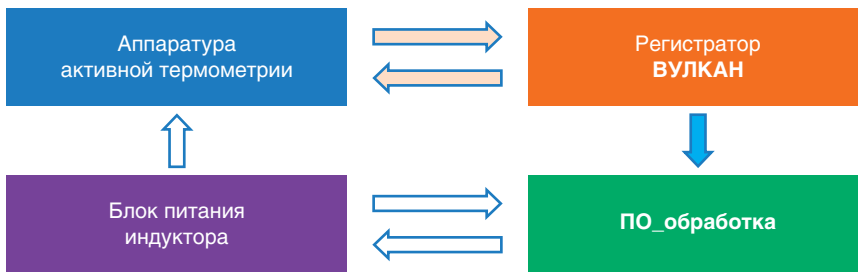


Рис. 1. Блок-схема связи аппаратуры активной термометрии с ПО_обработка

индуктора, что позволяет контролировать в реальном времени подаваемую мощность на индуктор и время его работы, при необходимости реализовано автоматическое отключение индуктора.

На рис. 2 показана интерфейсная часть ПО_обработка. Главное меню программного обеспечения обозначено областью 1 – через меню можно сохранять данные в форматах LAS и WS, загружать сохраненные данные из LAS файлов, открыть режим обработки данных, или войти в режим управления индуктором. В поле 2 отображаются текущий направляемый курсором мыши момент времени и температура из графика 3, в котором отображаются накопленные данные с прижимных датчиков температуры (ТМ1-ТМ6) и датчика

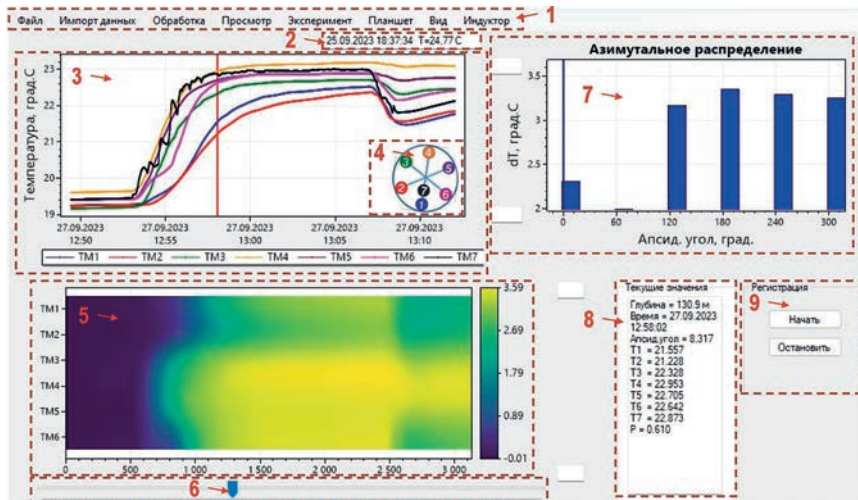


Рис. 2. Интерфейс ПО_обработка

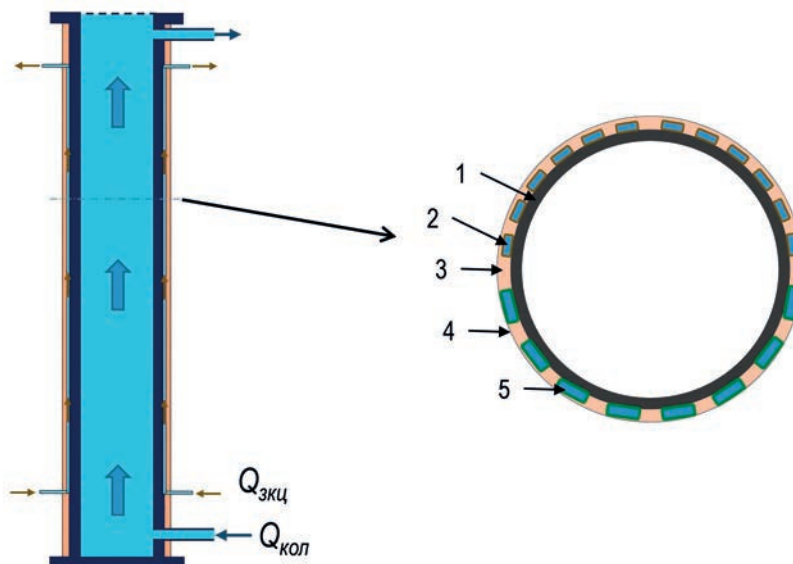


Рис. 3. Схема экспериментальной установки с имитацией каналов заколонного перетока: 1 – стальная труба, 2 – медные трубочки, 3 – имитация горной породы, 4 – полиэтиленовая пленка, 5 – пластиковые трубки

температуры в потоке жидкости (ТМ7) от времени регистрации. В приборе имеется датчик ориентации датчиков в стволе скважины. Схема расположения датчиков отображается в области 4 в выбранный момент времени (вертикальная красная линия на графике), текущий момент времени можно задать перемещением ползунка 6. В данный же момент времени строится азимутальное распределение температуры – график 7. На этом графике иллюстрируется избыточная температура относительной опорной температуры до начала нагрева, которую можно задавать. По анализу данного графика определяется наличие или отсутствие каналов заколонного перетока жидкости. Накопленные азимутально распределенные температурные данные отображаются в виде тепловой карты – 5. Текущие значения в выбранный момент времени показаны в области 8. Для подключения к каротажному регистратору и получения данных используется область «Регистрация» – 9.

Описание экспериментальной установки

Экспериментальная установка моделирует работу вертикальной скважины с наличием заколонных перетоков [3]. Схема модели приведена на рис. 3. Модель представляет собой стальную колонну (1 на рис. 3) внутренним диаметром 100 мм, толщиной стенки 7 мм и высотой 347 см. С внешней стороны колонны закреплены плоские медные трубочки диаметром 12 мм (2, рис. 3) в количестве 12 шт., расположены на одинаковом расстоянии друг от друга и занимают сектор 180°. Вторую часть внешней стороны колонны занимают 6 пластиковых труб диаметром 17 мм (5, рис. 3). Далее с наружной стороны на модель нанесен раствор из бентонитовой муки (3, рис. 3) для имитации горной породы.

Гидродинамическая система модели позволяет реализовать поток жидкости по колонне подключением к системе центрального водоснабжения. Жидкость в каналы заколонного перетока подается через термостат. Моделировать каналы заколонного перетока можно как по всем трубкам, так и выборочно в произвольном порядке, по отдельным секторам.



Описание эксперимента

На рис. 4 приведена схема расположения аппаратуры активной термометрии в экспериментальной установке в процессе проведения экспериментов. Распределенные прижимные датчики температуры расположены выше индукционного нагревателя, т.к. моделируется заколонный переток «снизу-вверх». Расстояние от центра индуктора до датчиков температуры – 128 см.

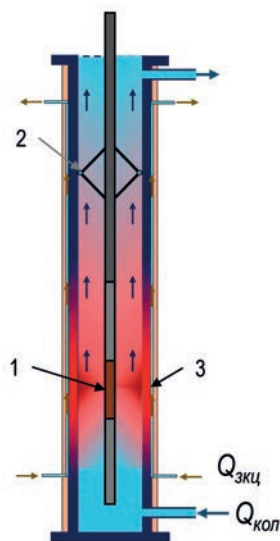


Рис. 4. Схема расположения индукционного нагревателя и распределенных датчиков температуры в процессе экспериментов: 1 – индукционный нагреватель, 2 – распределенные прижимные датчики температуры, 3 – интервал нагрева колонны

Результаты обработки данных по определению заколонного перетока

Наличие областей неоднородности (термоаномалий) на азимутальном распределении температуры является признаком наличия заколонного перетока жидкости в области за обсадной колонной, локализованного по азимуту. Анализ характера азимутального распределения температуры позволяет, во-первых, выявить заколонный переток по наличию немоного характера кривой, во-вторых, локализовать заколонный переток по азимуту. О наличии заколонного перетока по сектору можно судить в случае, когда температурная аномалия в секторе с перетоком меньше, чем в секторе без перетока более чем на $0,1^{\circ}\text{C}$ после отключения нагрева колонны.

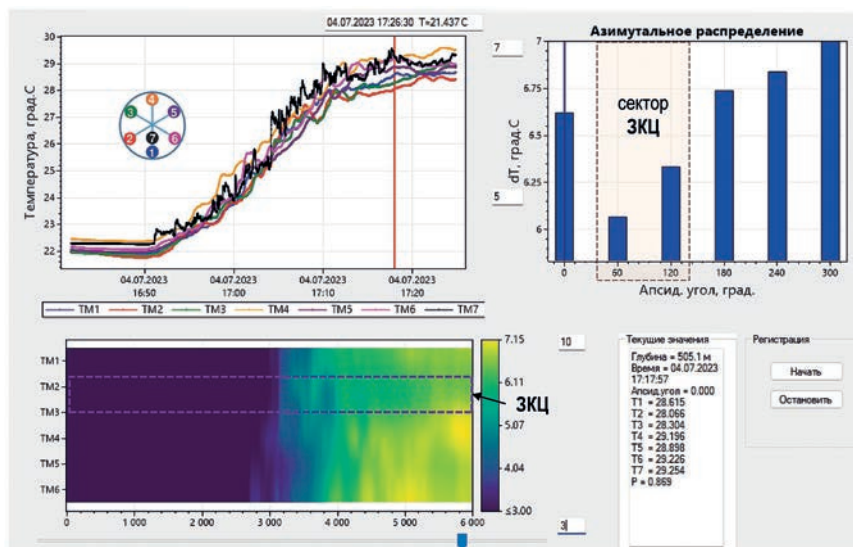


Рис. 5. Результаты измерения температурных данных на экспериментальной установке с заколонным перетоком 90°

На рис. 5 приведены результаты эксперимента с заколонным перетоком сектором 90° . Мощность индукционного нагревателя 1500 Вт, время нагрева 20 мин. Наиболее информативные температурные данные по определению заколонного перетока являются замеры после отключения индукционного нагрева, т.к. влияние естественной тепловой конвекции уменьшается. На рис. 5 показаны результаты обработки температурных данных. Для анализа выбран момент времени после отключения индуктора (красная вертикальная линия на основном графике). В этот момент времени показана азимутальная температурная развертка (график справа на рис. 5). Напротив, сектора с наличием заколонного перетока колонна остывает быстрее, разность температуры в секторе с перетоком и без перетока достигает $0,5^{\circ}\text{C}$. На нижнем графике – накопленной избыточной тепловой карте сектор с заколонным перетоком выделяется темной областью после момента начала нагрева колонны.

Таким образом, разработанное программное обеспечение позволяет в реальном времени получать данные с аппаратуры активной термометрии, данные могут быть экспортированы в различных форматах (LAS или WS). Данные в удобном виде визуализируются, могут быть отредактированы при необходимости. Встроенные алгоритмы обработки температурных данных позволяют определять наличие заколонных перетоков.

В работе продемонстрированы результаты испытаний аппаратуры в связке с программным обеспечением определения заколонных перетоков по отдельным каналам на экспериментальной установке. Разработанное программное обеспечение ПО_обработка совместно с аппаратурой активной термометрии будет использоваться при диагностике технического состояния скважин и пластов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Пат. 2194160 РФ, МПК Е 21 В 47/06. Способ активной термометрии действующих скважин (варианты) / Р. А. Валиуллин, Р. Ф. Шарафутдинов, А. Ш. Рамазанов. 2001102007/03, Заявлено 22.01.2001; Опубл. 10.12.2002. Бюл. 1.
2. Шарафутдинов Р. Ф., Валиуллин Р. А., Федотов В. Я., Закиров М. Ф., Тихонов А. Г., Глебочева Н. К., Шувалов А. В., Шилов А. А. Опыт использования метода активной термометрии при диагностике состояния эксплуатационных скважин // Каротажник. 2010. Т. 193. № 4. С. 5–12.
3. Валиуллин Р. А. Исследование температурного поля в скважине с индукционным нагревом колонны при наличии каналов заколонного перетока жидкости / Р. А. Валиуллин, Р. Ф. Шарафутдинов, В. Я. Федотов, Д. В. Космылин, И. В. Канафин // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2017. Том 3. № 3. С. 17–28.
4. Akhchurin, F. F. Davletshin, D. F. Islamov, R. A. Valiullin, R. F. Sharafutdinov. Temperature field in a well with casing induction heating considering the natural convection influence // Thermophysics and Aeromechanics, 2023, Vol. 30, No. 3, pp. 487–498.
5. Космылин Д. В., Давлетшин Ф. Ф., Исламов Д. В., Федотов В. Я., Гаязов М. С. Экспериментальное исследование теплового поля в скважине в процессе индукционного воздействия // Нефтегазовое дело. 2023. Т. 21, № 2. С. 56–64.