

*На правах рукописи*

**ШАКИРОВА Лейла Рустамовна**

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ  
КУМУЛЯТИВНО - ВОЛНОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ ВСКРЫТИИ  
ПРОДУКТИВНЫХ ПЛАСТОВ И ОСВОЕНИИ СКВАЖИН**

Специальность: 25.00.15 - Технология бурения и освоения скважин

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва 2014 г.

Работа выполнена в лаборатории нелинейной волновой механики в нефтегазовом комплексе Филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А.Благонравова РАН «Научный центр нелинейной волновой механики и технологии РАН (НЦ НВМТ РАН)»

Научный руководитель: **Валиуллин Рим Абдуллович**  
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: – **Хузин Ринат Раисович**  
доктор технических наук, Общество с ограниченной ответственностью «Карбон-Ойл», генеральный директор

– **Маслов Валентин Владимирович**  
кандидат технических наук, генеральный директор ЗАО «Сервисный центр – Буровые технологии»

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет»

Защита состоится 17 декабря 2014 года в 14:00 на заседании диссертационного совета Д 002.059.04 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (ИМАШ РАН) по адресу: г. Москва, 119334, ул. Бардина, д. 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ИМАШ РАН по адресу: 119334, г. Москва, ул. Бардина, д. 4, [www.imash.ru](http://www.imash.ru)

Автореферат разослан 17 ноября 2014 года.

Ученый секретарь диссертационного совета  
кандидат технических наук



Г.Н. Гранова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность работы

Современный этап развития общества отличается огромной зависимостью экономики от наличия и доступности углеводородного сырья (УВС). Учитывая, что месторождения на небольших глубинах в большинстве своем истощены и находятся на поздней стадии разработки при общем ухудшении структуры запасов, в разработку вовлекаются глубокозалегающие залежи нефти и газа на континенте и шельфе северных морей, что приводит к резкому удорожанию строительства скважин. При высокой стоимости бурения глубоких разведочных и эксплуатационных скважин первоочередными задачами являются проблемы безаварийной проводки ствола и оптимального заканчивания при эффективном вскрытии продуктивных пластов-коллекторов. Те же задачи актуальны для многопластовых и сложнопостроенных месторождений с трудноизвлекаемыми запасами УВС, особенно тогда, когда в результате заводнения обводненность продукции превышает 80-90 %.

Значительные возможности повышения эффективности заканчивания и освоения скважин в осложненных геолого-технических условиях содержатся в новом научном направлении – комплексировании и параллельно-последовательном воздействии волновых, физико-химических и тепловых полей на призабойную зону пласта (ПЗП) и продуктивный пласт в целом.

Как показали предварительные исследования, кумулятивно-волновое воздействие на пласт возникает при вторичном вскрытии взрывными перфораторами, при котором кумулятивные струи пробивают каналы в обсадной колонне и пласте, а ударные волны, возникающие от взрыва зарядов перфоратора, воздействуют на крепь скважины и заколонное пространство. Известно, что под действием интенсивных ударных волн от срабатывания кумулятивных перфораторов в интервале вскрытия возможны изменения околоскважинного пространства (дилатация породы), приводящие к резкому снижению фазовой проницаемости пласта.

Также известно, что ультразвуковая обработка вскрытого интервала способствует очищению ПЗП и позволяет интенсифицировать приток. Необходимо также учитывать, что кумулятивная струя является струей высокого давления, которая за счет кинетических параметров составляющих ее частиц **продавливает** канал в породе, нарушая ее цельность и создавая уплотнения по стенке канала, а ударная волна, сопровождающая этот процесс, «встряхивает» скелет породы и способствует трещинообразованию сформировавшихся уплотненных зон.

Следовательно, существуют принципиальные основы технологии, в которой изменением параметров волновых процессов от срабатывания перфоратора появляется потенциал формирования проницаемости ПЗП при тех же размерах

перфорационных каналов, а комплексирование ударно-волнового воздействия с дополнительными полями (химическим, тепловым и др.) позволит усилить положительный эффект. Однако, до настоящего времени отсутствуют механизмы управления процессом заканчивания и освоения скважин за счет выбора оптимальных параметров наведенных полей воздействия в скважине. Только контроль их взаимовлияния на изменения ФЕС ПЗП позволит достигнуть максимальных результатов при совершенствовании системы «скважина-пласт».

Кроме того, отсутствуют исследования по использованию технологии управляемого заканчивания в многозбойных горизонтальных скважинах при разбуривании месторождений УВС, характеризующихся многоярусным геологическим строением. В них залежи УВС могут быть разделены между собой, расположены на больших глубинах и связаны с ловушками УВС неструктурного типа в виде малоамплитудных локальных объектов.

Также отсутствуют исследования по применению технологии комплексного воздействия при разбуривании сложнопостроенных многопластовых месторождений горизонтальными скважинами, когда необходимо вовлечение в эксплуатацию слабодренированных, тупиковых и застойных зон. В этом случае решением проблемы может стать применение управляемого нестационарного воздействия волнового поля на разрабатываемые залежи, а комплексирование воздействия с регулированием физико-химических характеристик закачиваемых технологических реагентов - значительно повысит эффективность и качество вскрытия продуктивных пластов.

### **Цель работы**

Повышение эффективности и качества вскрытия продуктивных пластов при вводе скважин в эксплуатацию, за счет создания технологии управления комплексным кумулятивно-волновым воздействием.

### **Основные задачи исследований**

1. Анализ современного состояния качества вскрытия продуктивных пластов, вызова и интенсификации притока в осложненных горно-геологических условиях при освоении скважин расположенных на месторождениях с трудноизвлекаемыми запасами нефти и на месторождениях находящихся в поздней стадии разработки.
2. Разработка научно-методических основ технологии качественного вскрытия продуктивных пластов на основе комплексирования измерений тепловых и гидродинамических полей в скважинах.
3. Разработка математических методов изучения формирования и взаимодействия волновых и тепловых полей в системе «скважинная жидкость – кумулятивный перфоратор - продуктивный пласт».

4. Разработка технических требований к системе управления вторичным вскрытием продуктивных пластов и освоением скважин на основе волнового воздействия на призабойную зону продуктивных пластов.
5. Разработка методики термогидродинамических скважинных исследований для оценки качества вскрытия продуктивных пластов и выбора оптимальных режимов интенсификации притока.
6. Опробование технологии контроля за качеством вскрытия продуктивных пластов и управления освоением скважин на пилотных объектах нефтегазового комплекса.

### **Научная новизна работы**

1. Разработаны научные основы создания технологии управления качеством вскрытия продуктивных пластов и освоения скважин на основе комплексирования измерений волновых и тепловых полей.
2. Научно обоснована и разработана технологическая схема прогнозирования фильтрационной модели при взрыво-кумулятивном воздействии на призабойную зону продуктивного пласта для повышения коэффициента извлечения нефти из пласта.
3. Обоснованы и разработаны критерии выбора оптимальных параметров волнового воздействия для интенсификации вызова притока из продуктивного пласта, с целью повышения коэффициента извлечения нефти.
4. Разработана методика комплексного исследования гидродинамических и тепловых полей в скважине для изучения эффективности заканчивания и освоения скважин.
5. Научно обоснована и разработана функциональная схема компьютеризированного комплекса для управления качеством вторичного вскрытия продуктивных пластов и обеспечения оптимальных условий для вызова и интенсификации притока.

### **Основные защищаемые положения**

1. Функциональные зависимости продуктивности и фазовой проницаемости продуктивных пластов-коллекторов от энергетических характеристик волновых и тепловых процессов в системе «скважинная жидкость – кумулятивный перфоратор - продуктивный пласт».
2. Информационная модель взаимовлияния волновых и тепловых процессов при взаимодействии кумулятивного перфоратора с продуктивным пластом.
3. Критерии прогнозирования продуктивности пластов-коллекторов и оптимизации их вторичного вскрытия по результатам исследований волновых и тепловых полей в скважине.

4. Критерии оценки качества вскрытия продуктивных пластов и методология управления волновыми процессами, позволяющие повышать эффективность освоения скважин за счет выбора оптимальных параметров воздействия на призабойную зону пласта.
5. Частотные характеристики взаимодействия элементов системы «скважинная жидкость - кумулятивный перфоратор - продуктивный пласт» при распределенном заканчивании горизонтальных скважин большой протяженности.

### **Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций**

Достоверность обусловлена корректным применением уравнений механики сплошных сред и численных методов, достаточным объемом скважинных и экспериментальных исследований. Теоретические положения и рекомендации, изложенные в диссертации, подтверждены результатами опробований и испытаний разработанной технологии на пилотных объектах при заканчивании скважин.

### **Практическая ценность работы**

1. Разработана комплексная технология управления вторичным вскрытием продуктивных пластов и освоением скважин, базирующаяся на совмещении управляемого волнового поля и физико-химических воздействий на продуктивные пласты месторождений с трудноизвлекаемыми запасами нефти.
2. Разработана методика оценки качества вскрытия продуктивных пластов, позволяющая не только количественно оценить продуктивность пластов, но и выбрать оптимальные характеристики ввода скважины в эксплуатацию.
3. Разработана технология управления кумулятивно-волновым воздействием на ПЗП, направленная на восстановление ее фильтрационных характеристик, применение которой позволит интенсифицировать ввод в эксплуатацию скважин на нефтяных месторождениях с трудно извлекаемыми запасами.
4. Разработана и внедрена компьютеризированная система контроля вторичного вскрытия продуктивных пластов и управления воздействием на ПЗП в реальном времени на основе комплексных измерений тепловых и волновых нестационарных полей, возникающих в скважине при проведении кумулятивной перфорации;
5. Впервые разработана технология управления заканчиванием горизонтальных скважин большой протяженности на основе группирования распределенной кумулятивной перфорации.

### **Апробация работы**

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях и семинарах:

- конференции для студентов, аспирантов и молодых ученых по математике и физике. Уфа, 2002-2004 г.г.;
- на международной Уфимской школе-конференции для студентов, аспирантов и молодых ученых по математике и физике, Уфа 2006 г.;
- на научной конференции «Информационные технологии в нефтегазовом сервисе», Уфа, 2006 г.;
- на VII конгрессе нефтегазопромышленников России. Секция «Новая техника и технологии для геофизических исследований скважин», Уфа, 2007 г.;
- на всероссийской 20-ой научно-практической конференции «Новая техника и технологии для исследований скважин», Уфа, 2014г.;
- на семинарах и совещаниях Научного центра нелинейной волновой механики и технологии РАН (ИЦ НВМТРАН), Москва (2009-2013 г.г.).

### **Публикации**

Основное содержание диссертации опубликовано в 14 печатных изданиях, включая 8 печатных работ в ведущих реферируемых журналах, согласно перечня ВАК Минобрнауки РФ, в том числе в 4-х патентах на изобретения РФ.

### **Объем и структура работы**

Диссертационная работа изложена на 134 страницах машинописного текста, в т. ч. содержит 10 таблиц и 46 рисунков. Состоит из введения, четырех разделов, заключения, содержащего основные выводы и рекомендации и списка использованных работ по теме диссертации, включающего 105 наименований.

Диссертационная работа выполнена в ИЦ НВМТ РАН Института машиноведения им. А.А. Благонравова под научным руководством д.т.н. профессора Валиуллина Р.А. и д.т.н. Шакирова Р.А., которым автор выражает глубокую признательность и благодарность. Автор выражает признательность и искреннюю благодарность специалистам ОАО "Сургутнефтегаз", ОАО "ЛУКОЙЛ", ОАО НК "Роснефть", ЗАО "ПерфоТех", ЗАО "Геоспектр" и др., оказавшим содействие при проведении и обработке данных экспериментальных исследований и во внедрении разработанной технологии при строительстве разведочных и эксплуатационных скважин.

В диссертации также представлены результаты исследований, выполненных автором и под его руководством в период 2006-2013 г.г. в ЗАО «НТФ ПерфоТех».

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность темы исследований, представлена научная новизна, основные защищаемые положения и практическая значимость результатов проведенных исследований.

**В первой главе** приведены результаты анализа современного состояния и обобщения проблемы качественного вскрытия продуктивных пластов и освоения скважин в осложненных геолого-технических условиях.

Исследованиям методов и технологий качественного вскрытия продуктивных пластов и освоения скважин посвящены многочисленные публикации отечественных и зарубежных ученых, таких как Агзамов Ф.А., Александров М.М., Ангелопуло О.А., Амиян В.А., Булатов А.И., Буслаев В.Ф., Гайворонский И.Н., Городнов В.Д., Желтов Ю.П., Кошелев А.Т., Кошелев В.Н., Крылов В.И., Крысин Н.И., Кузнецов Ю.С., Мавлютов М.Р., Мирзаджанзаде А.Х., Овчинников В.П., Пеньков А.И., Поляков В.Н., Потапов А.Г., Овнатанов Г.Т., Оганов А.С., Оганов Г.С., Аветов Р.В., Ясашин А.М., Шерстнев Н.М., Рукавицин В.Н., Рябоконт С.А., Сидоровский А.М., Шуров В.Н., Вадецкий Ю.В., Дедусенко Г.Д., Кистер Э.Г., Липкес Н.М., Шарипов А.У., Ягафаров Р.Г., Нигматулина А.Г., Татауров В.Г., Лугуманов М.Г., Нацепинская А.М., Зозуля В.П., Лушнеева О.А., Костянов В.М., Ганеев Р.Ф., Санников Р.Х., Ахметшин Э.А., Салтыков В.В., Галиагбаров В.Ф., Гильмашин И.Г., Ahrens T.Y., Anderson A., Astrella L.A., Churchwell R., Dawies G.E., Behrmann L.A., Daneshy A.A., Bell V.T., Bihop S.R., Bond A.Y., Esk M.E., Halleck R.M., Mead D.A., Grames D.B., Grusbeck C.E., Hinds A.A., Powter C.B., Stiiwell C.T., Warpinski N.R., Webster G.A., Whit D.T., Huber K.Y., Collins R.E., Sausier R.Y., Karakas M., King G.E., Tarig S., Person C.M., Shmidt H.P., Santarelli F.Y., Outfel H., Zandel Y.P., Zimmerman P.K. и др.

Особо подчеркивается сложность решения поставленных задач по управлению качеством вторичного вскрытия пласта и оценки состояния призабойной зоны пласта в процессе освоения скважины и пласта. Несмотря на значительное количество исследований, способствующих повышению гидродинамического совершенства ствола скважины в призабойной зоне пласта, применение на практике известных технологий затруднено, ввиду отсутствия методик управления качеством вскрытия пластов, что не позволяет достигать их потенциальной продуктивности.

Важную роль данная проблема приобретает при освоении скважин, бурящихся в сложнопостроенных низкопроницаемых коллекторах, когда из-за некачественного их вскрытия потенциальные возможности основных разрабатываемых горизонтов используются лишь на 10-15%. Также в этих скважинах, из-за неоднозначности результатов освоения ввиду отсутствия необходимой аппаратуры контроля и методологии управления процессом, увеличиваются риски пропуска продуктивных горизонтов.

Результатами проведенного анализа выявлено, что вопросы качества освоения скважин могут быть значительно усовершенствованы при применении системы управления освоением скважины, основанной на инструментальных исследованиях аномалий термогидродинамических полей (ТГДИ) в интервалах



вторичного вскрытия и их трансформацией, связанной с изменением притока флюида из пласта после нестационарного волнового воздействия на ПЗП.

Под освоением скважин в диссертации понимается комплекс работ, включающий вторичное вскрытие пластов при перфорации эксплуатационной колонны, последующий вызов притока из интервалов вторичного вскрытия, восстановление фильтрационных характеристик ПЗП и связанное с этим увеличение притока. ТГДИ необходимы для определения количественных и качественных характеристик вскрытого пласта, а проведение их в реальном времени позволяет применять полученную информацию для оперативного управления освоением.

В последние годы опыт применения прострелочно-взрывных аппаратов (ПВА) также претерпел значительные изменения. Были созданы перфорационные системы, пробивающие в породе глубокие каналы (1100-1500 мм) и вскрывающие протяженные интервалы (500-2000 м) за один рейс, при снижении общей фугасности ПВА.

В ряде опубликованных исследований показано, что в результате вскрытия пласта бурением ПЗП в пределах 3-5 радиусов ствола скважины приходит в сложнапряженное состояние из-за перераспределения влияний горного и пластового давлений, особенно при высокой анизотропии пласта. Это приводит к изменению структуры порового пространства этой зоны, ухудшению фильтрационных характеристик и зависимости ФЕС этой зоны от величины забойного давления. Одним из решений этой проблемы является создание перфорационных каналов, проходящих через эту зону насквозь и соединяющих скважину с малоизмененной областью пласта, что требует принципиально новых подходов, как к организации, так и проведению работ по вторичному вскрытию.

Анализ изменений в технологиях ПВР в скважинах, выявление информации о причинно-следственных связях и взаимовлиянии отдельных операций на результаты работ, позволили сделать вывод, что перфорация или реперфорация скважины являются одним звеном в непрерывной информационно-технологической цепи, называемой *вторичное вскрытие пласта*. Анализ современного состояния вторичного вскрытия пластов, как главенствующего и завершающего этап строительства скважины, позволяет сформулировать следующие требования к решению задач по повышению эффективности по заканчиванию скважины в целом:

- достоверность выбора объекта перфорации;
- выбор оптимизированной технологии и метода перфорации;
- необходимость управления вызовом и интенсификацией притока;
- необходимость рационального выбора подземного оборудования и управления вводом скважины в эксплуатацию.

Реализация каждого из вышеперечисленных требований имеет четко обозначенное функциональное назначение и служит для выполнения следующих задач:

- прогноз дебита скважины;
- оценка качества перфорации;
- оценка гидродинамической связи системы «скважина-пласт» и подтверждение прогнозного дебита;
- фактический дебит скважины.

Качество перфорации и гидродинамической связи системы «скважина - пласт» позволяют судить о совершенстве вскрытия пласта, и только сопоставление потенциального и фактического дебитов дают возможность решить вопрос об эффективности вскрытия и освоения скважины в целом.

Выбор объекта перфорации должен основываться на всей совокупности геолого-геофизической информации, полученной как на этапе строительства скважины (ГТИ) и в результате геофизических исследований в открытом стволе, так и при изучении технического состояния обсадной колонны и затрубного пространства. Вся эта информация является постоянно пополняемой базой данных (БНД) для построения геологических и гидродинамических моделей месторождения, залежи, пласта и, в частном случае, околоскважинного пространства. На основании всей доступной информации, включающей и эксплуатационные параметры соседних скважин, выбирается технология вторичного вскрытия и осуществляется прогноз дебита вновь вводимой в эксплуатацию скважины.

На основе анализа геофизического сопровождения вторичного вскрытия пластов разработаны требования к информационному обеспечению кумулятивно-волнового воздействия на ПЗП и сформулированы оптимальные комплексы информационных параметров, необходимых для оценки качества вскрытия продуктивных пластов в различных геолого-технических условиях заканчивания. Рассмотрена методология оценки эффективности вторичного вскрытия пластов и влияния отдельных факторов на показатели гидродинамического совершенства вскрытия в системе «скважина – продуктивный пласт» в зависимости от вида заканчивания скважин.

Предложенная автором концепция управляемого вскрытия пластов и освоения скважин при вводе их в эксплуатацию позволяет на основе регистрации и анализа аномалий ТГДИ в скважине, в отличие от технологии неуправляемого гидроразрыва, полностью решить задачи оптимизационной технологии заканчивания скважин.

Особую значимость разработанная концепция управляемого вскрытия приобретает при заканчивании протяженных интервалов в горизонтальных скважинах. При протяженности ствола более 5 – 10 км значительно осложняется

освоение скважины, поэтому одним из вариантов повышения эффективности работ становится подача через перфорационные каналы знакопеременных импульсов, которые воздействуют на ПЗП вскрытого низкопроницаемого пласта. Оптимальная очистка ПЗП и повышение продуктивности пласта обеспечивается за счет управляемого волнового воздействия.

В целом, обобщая опыт применения существующих технологий перфорации и интенсификации притока во время освоения скважин при вводе их в эксплуатацию, можно выделить следующие методы волнового воздействия, представленные в таблице 1:

- создание многократных переменных депрессий на основе струйных насосов, позволяющие производить очистку ПЗП и эффективно осваивать скважины при контроле проводимых работ геофизическими и гидродинамическими методами исследований;
- комплексное использование метода переменных депрессий в сочетании с кислотными обработками позволяет поддерживать непрерывную циркуляцию реагента, путем чередующихся откачек струйными насосами и последующих закачек в пласт; по окончании реагирования продукты реакции практически полностью извлекаются из ПЗП;
- циркуляционно-импульсные воздействия, создаваемые нагнетаемым реагентом на ПЗП через перфорационные отверстия;
  - акустическое воздействие на продуктивный пласт, где в качестве источника акустического поля применяется высокочастотный генератор, работающий на разных частотах ультразвукового диапазона; обработка производится на точках при перемещении прибора по интервалу перфорации; в результате акустической обработки с одновременным созданием циклических депрессий улучшается очистка ПЗП и восстанавливаются ФЕС пласта, а также увеличивается подвижность насыщающего пласт флюида;
- сейсмическое воздействие в низкочастотном диапазоне, в качестве источника колебаний используются наземные генераторы (вибраторы) и волноводные устройства для передачи энергии волнового поля в продуктивные пласты;
- термогазохимическое воздействие на объект разработки достигается горением закаченных в скважину жидких химических веществ на основе селитры; в результате объект разработки подвергается воздействию высоких температур и пульсаций давления, что в итоге приводит к дренированию пласта, созданию сети трещин и увеличению подвижности флюида в ПЗП;
- газоимпульсная обработка призабойной зоны пласта при воздействии пороховыми генераторами давления (ПГ Д);
- пневмо-импульсные и импловзивные обработки ПЗП;
- методы управляемой кольматации при вскрытии продуктивных пластов.

*Технологии волнового воздействия  
на призабойную зону продуктивного пласта*

№ п/п	Наименование	Технические средства	Достигнутый эффект
1.	Технология обработки ПЗП с целью интенсификации притока	Скважинный гидродинамический излучатель	Возбуждение в призабойной зоне нестационарных гидродинамических полей
2.	Технология освоение скважин эжекторными устройствами	Эжекторное устройство на основе струйного насоса с проходным отверстием для производства ГИС	Создание многократных переменных депрессий. Совмещение с кислотными обработками
3.	Технология газоимпульсной обработки ПЗП	Импульсный генератор высокого давления с использованием азота	Селективная обработка ПЗП в интервале перфорации импульсами высокого давления (800-1000 атм)
4.	Технология акустического воздействия на ПЗП	Генератор акустических волн	Обработка пласта в интервале перфорации акустическими сигналами высокой интенсивности
5.	Технология горюче-воспламеняющего действия	Химические вещества на основе селитры	Создание в ПЗП высоких температур
6.	Технология воздействия пороховыми генераторами давлений	Пороховой генератор	Создание в интервале перфорированного пласта высоких температур и давлений

Метод газоимпульсной обработки позволяет:

- избирательно воздействовать на выбранные локальные проницаемые участки в перфорированном пласте для повышения его нефтеотдачи;
- обеспечивать в зоне обработки давление в 1,5 - 2 раза выше горного при его локализации в ограниченном интервале (1-1,5 м по стволу скважины);
- регулировать параметры газоимпульсного воздействия по амплитуде, длительности и частоте импульсов в широком диапазоне в зависимости от состояния зоны обработки;
- при необходимости производить увеличение проницаемости в зоне обработки, путем создания системы трещин.

Газоимпульсная обработка ПЗП перфорированного интервала может проводиться совместно или после вторичного вскрытия.

На основе выполненного анализа существующих методов вскрытия и обработки ПЗП при заканчивании скважин и приведенных требований, разработана технологическая схема, представленная на рис. 1. Появляется возможность на этапах вызова и интенсификации притока оценить эффективность волнового воздействия на ближнюю зону вскрытого пласта, для чего необходим в скважине инструментальный контроль изменений гидродинамических и тепловых полей в процессе освоения.



*Рис. 1. Технологическая схема оптимального вскрытия продуктивных пластов и освоения скважин на основе кумулятивно-волнового воздействия.*

Подобная реализация технологической схемы позволяет осуществить воплощение стратегии оптимизированной разработки и доработки месторождений УВС на поздних стадиях эксплуатации и месторождений с трудноизвлекаемыми запасами. Например, на нескольких выработанных залежах были проведены взрывы в краевых скважинах, в которых фугасные заряды устанавливались в интервалах перфорации. Данная операция позволила на некоторое время повысить содержание нефти в добываемой жидкости.

В результате анализа результатов применяемых технологий вторичного вскрытия и освоения пластов в скважинах отечественных и зарубежных месторождений даны обоснования постановки задач исследований.

**Во второй главе** приведены разработанные научно-методические основы технологии кумулятивно-волнового воздействия на систему «скважина – продуктивный пласт» при заканчивании и освоении скважин.

С целью реализации требований, предъявляемых к разработке технологической схемы оптимального вскрытия продуктивных пластов и освоения скважин, приведены результаты математического моделирования призабойной зоны продуктивного пласта и системы слоев околоскважинного пространства с различными импедансными свойствами.

На основании предложенной концепции сформулированы следующие требования к постановке и решению задач математического моделирования:

- исследование эффекта частотного взаимодействия системы «скважина – кумулятивный перфоратор – обсадная колонна – цементное кольцо – околоскважинное пространство» и исследование условий прохождения энергии волнового поля в околоскважинное пространство;
- количественная оценка частотных характеристик воздействия на пласт при передаче энергии волнового поля из скважины для очистки перфорационных каналов и интенсификации притока;
- изучение возможности управления параметрами возбуждения волнового поля и параметрами кумулятивной системы воздействия на ПЗП за счет согласования импедансных свойств перфорационной системы и продуктивного пласта;
- изучение корреляции спектра ударных волн в зоне перфорации в зависимости от конструкции и протяженности сработавшей перфосистемы.

Для анализа результатов математического моделирования околоскважинного пространства и ПЗП скважины, для расчетов выбран наиболее эффективный импедансный метод, позволяющий комплексно рассмотреть влияние различных параметров на возбуждение волнового поля, на его формирование и распределение в околоскважинном пространстве. Параллельно рассматриваются плотностные, коллекторские и упруго–деформационные характеристики продуктивных пластов – коллекторов, в том числе учитывается и характер их насыщения. Это позволило автору совместно с д.т.н. Шакировым Р.А. и к.т.н. Рукавицыным Я.В. предложить импедансную (волновую) модель для различных вскрываемых объектов. Для примера в таблице 2 представлены параметры нефтенасыщенного известняка.

Глубину проникновения энергии волнового поля в пласты можно оценить по величине отношения энергетических спектров возбуждаемого волнового поля на различных расстояниях от оси скважины. В этом случае показатель проникновения энергии волнового поля оценивается как:

$$d_e = \ln \frac{W_0 (W_1 r_0)}{W_n (W_1 r_n)} , \quad (1)$$

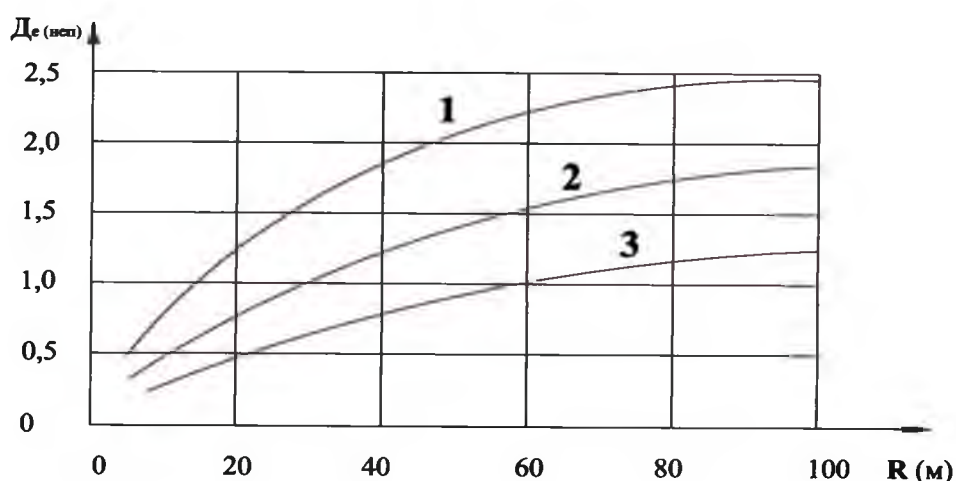
где:

$W_0 (W_1 r_0)$  - энергетический спектр возбуждаемого волнового поля;  
 $(W_1 r_n)$  - энергетический спектр волнового поля на удалении  $r_n$  от оси скважины.

*Параметры импедансной (волновой) модели при вскрытии нефтенасыщенного пласта*

Импедансный слой	Плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Скорость распространения волнового поля, $V_p$ , м/сек	Декремент затухания, $\eta_p$ (-)	Импеданс, $W_p$ * 10 <sup>3</sup> г/см <sup>2</sup> сек	Толщины слоев, г, м
Промывочная жидкость	1,2	1200	0,01	1440	0,04
Обсадная колонна	7,8	5500	0,005	4290	0,01
Цементное кольцо	2,1	4300	0,01	903	0,05
Кольматационный слой	2,9	3200	0,01	928	0,08
Нефтенасыщенный известняк	2,8	3600	0,1	1008	0,5 - 1,5

Расчетные величины показателя проникновения, характеризующего эффективность кумулятивно – волнового воздействия на продуктивные пласты, приведены на рис. 2. На основании этих результатов можно предположить, что при условии управления амплитудой и частотой возбуждаемого волнового поля создаются предпосылки для повышения качества вторичного вскрытия и освоения скважины. Причем низкочастотный спектр воздействия обеспечивает более глубокое проникновение энергии волнового поля в зону перфорации, а эффективность очистки ПЗП больше зависит от соотношения высокочастотных составляющих поля и структуры порового пространства пласта.



*Рис. 2. Количественная оценка эффективности кумулятивно – волнового воздействия на продуктивный пласт при его вскрытии и освоении скважины,*

- 1 – для частоты воздействия 10 кГц;
- 2 – для частоты воздействия 5 кГц;
- 3 – для частоты воздействия 1 кГц.

Спектр ударных волн, возникающих в интервале перфорации при срабатывании ПВА, зависит от следующих параметров перфоратора:

- конструкции корпуса перфоратора (диаметр, толщина стенки, длина секции и т.д.) при рассмотрении его как резонатора;
- плотности перфорации (количество дискретных единиц при компактно-растянутом взрыве);
- длины перфосистемы и величины задержек между срабатываниями отдельных секций (интерференция ударных волн, образованных разными секциями);
- соотношения диаметров перфосистемы и скважины;
- плотности жидкости, заполняющей скважину (эффект присоединенной массы);
- совместного воздействия на зону перфорации «перфораторных» ударных волн и волн, генерируемых пороховым генератором давления.

Наряду с проведением работ по математическому моделированию упругих полей также проведены многочисленные расчеты по моделированию тепловых полей, возникающих в системе «скважина – пласт» под воздействием ударно-волнового воздействия сработавшего перфоратора.

По результатам моделирования тепловых полей разработаны:

- методология количественной оценки тепловыделения после перфорации;
- оценки температурных напряжений горной породы в зоне воздействия;
- методика измерения тепловых полей при оценке качества заканчивания скважин;
- принципы количественной интерпретации данных термометрии в интервалах перфорации скважин.

На основании результатов математического моделирования для ударно-волновых и тепловых взаимодействий элементов системы «скважина – перфоратор – продуктивный пласт» можно выделить:

- рассчитанные на ПЭВМ передаточные характеристики системы воздействия на продуктивные пласты позволили выявить наличие частотных диапазонов, способствующих максимальному прохождению энергии волнового поля в продуктивный пласт;
- анализ результатов математического моделирования системы «скважина – перфоратор – продуктивный пласт» позволил оценить глубину проникновения энергии волнового поля в ПЗП в различных частотных диапазонах и оценить тепловую конвекцию кумулятивного воздействия в зоне перфорации;
- в результате изучения импедансных моделей показана возможность регулирования глубины проникновения кумулятивно-волнового воздействия на пласты, которая определяется частотным спектром и энергией волновых полей возбуждаемых при перфорации;



- учитывая ограничения для регулирования параметров волновых полей за счет изменения габаритов перфосистем, управление параметрами волнового поля целесообразно осуществлять изменением времени задержки при передаче детонационного импульса между секциями перфоратора и параллельным срабатыванием ПГД;
- анализ физических процессов и экспериментальных исследований позволил разработать методологию интерпретации скважинных материалов и выделить следующие характерные особенности тепловых аномалий, проявляющиеся при кумулятивной перфорации колонны:
  - после перфорации против интервала воздействия наблюдается положительная температурная аномалия; возрастание температуры относительно первоначальной составляет от 1,5 до 12 °С;
  - величина и амплитуда тепловой аномалии зависят от конструкции примененного перфоратора (корпусной или бескорпусной);
  - отмечается, что наличие тепловой аномалии в интервале вторичного вскрытия через несколько суток после перфорации является результатом дилатансии пород пласта под воздействием ударно-волнового поля, вследствие чего фазовая проницаемость коллектора может быть кратно снижена;
  - нарушение первоначального распределения температуры регистрируется в скважине и в областях, расположенных выше и ниже интервала перфорации, причем распространение зоны нарушения в обе стороны составляет от 5 до 30 м;
  - при отсутствии притока жидкости из пласта непосредственно после перфорации, аномалия температуры практически симметрична относительно середины перфорированного интервала;
  - приток или поглощение жидкости непосредственно после перфорации нарушает симметрию аномалии из-за конвективного теплообмена;
  - величина и форма температурной аномалии в зумпфе скважины при наличии заколонного перетока снизу зависит от соотношения дроссельного разогрева в интервале перетока и остаточного разогрева от кумулятивной перфорации колонны; при преобладании величины дроссельного разогрева, по сравнению с прогревом колонны за счет кумулятивной перфорации, в зумпфе сохраняются повышенные значения температуры относительно геотермической; при значительном разогреве за счет кумулятивной перфорации по сравнению с дроссельным эффектом, наблюдается понижение температуры в зумпфе скважины;

- наличие на термограмме тепловой аномалии после ПВР является документом, подтверждающим проведения перфорации объекта и факт расходования ВВ.

**В третьей** главе приведены научные основы разработки аппаратно-программного комплекса (АПК) и технологии управления кумулятивно-волновым воздействием при вторичном вскрытии продуктивных пластов и освоении скважин.

На основе разработанных автором научно-методических алгоритмов управления кумулятивно-волновым воздействием и на основе комплексного измерения манометрических и тепловых полей в скважинах обоснован, предложен и разработан АПК для решения следующих задач:

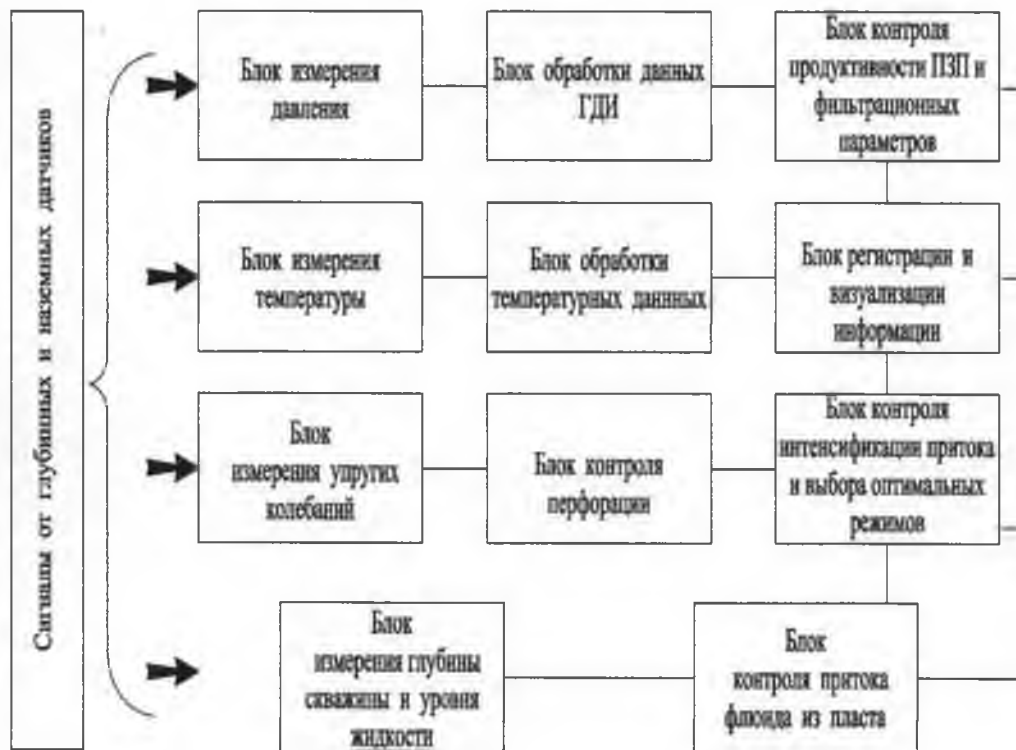
- информационное сопровождение технологии управляемого вскрытия и освоения скважин для интенсификации притока с целью достижения максимальной продуктивности;
- выбор оптимальных режимов вторичного вскрытия продуктивного пласта;
- выбор оптимальных режимов освоения скважин при интенсификации притока;
- регистрация и передача на поверхность термогидродинамических параметров процесса вторичного вскрытия;
- регистрация и передача на поверхность технологических, акустических и гидродинамических параметров процесса освоения скважин при кумулятивно-волновом воздействии.

На основе разработанных требований автором предложена функциональная схема аппаратно-программного комплекса, представленного на рис.3.

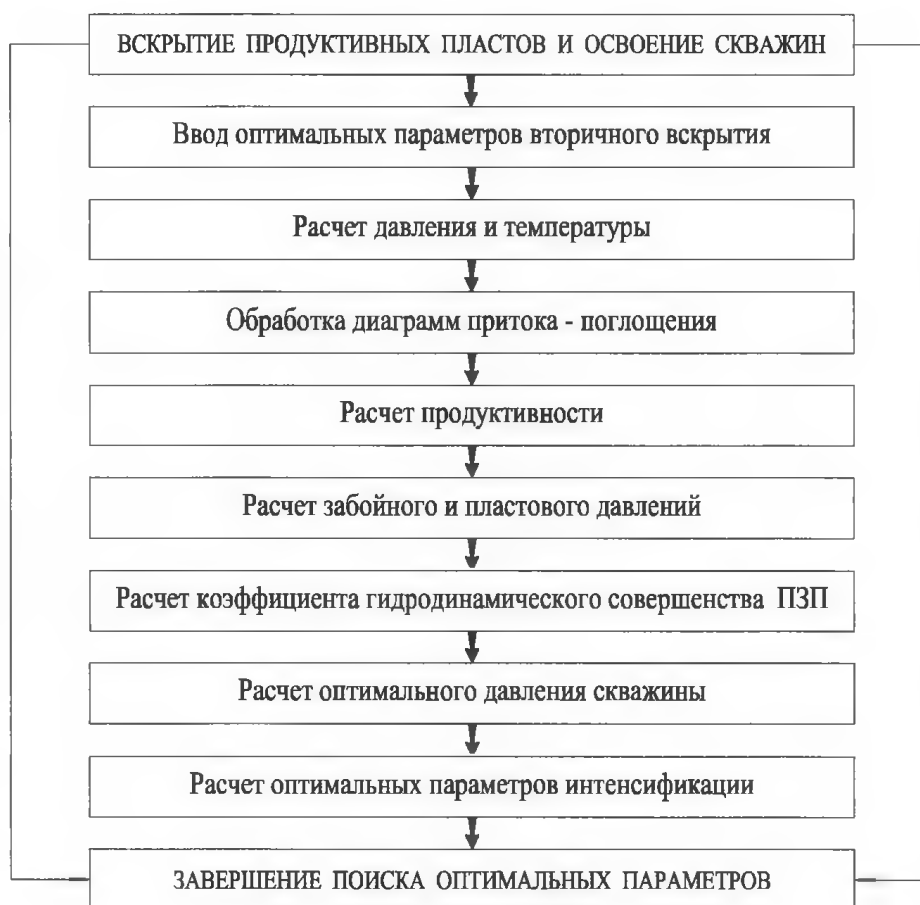
АПК функционирует на основе регистрации и обработки термометрических, гидродинамических и акустических данных, получаемых как от скважинных приборов, так и от наземной системы сбора информации.

Основным отличием АПК является программирование перед спуском скважинного прибора в диапазоне ожидаемых результатов, что позволяет ему в автоматическом режиме менять режимы регистрации в зависимости от текущих условий в скважине. В результате этого увеличивается динамический диапазон и повышается помехозащищенность каналов регистрации, что особенно важно для регистрации начального участка КВД.

Алгоритмическая взаимосвязь между отдельными блоками АПК, предназначенными для сбора информации, обработки полученной данных, для визуализации текущих процессов и контроля выполнения технологии в режиме реального времени представлена на рис. 4.



*Рис. 3. Функциональная схема аппаратно – программного комплекса контроля и управления вскрытием продуктивных пластов и освоением скважин.*



*Рис. 4. Блок-схема алгоритмического обеспечения в комплексе управления вскрытием продуктивных пластов и освоением скважин.*

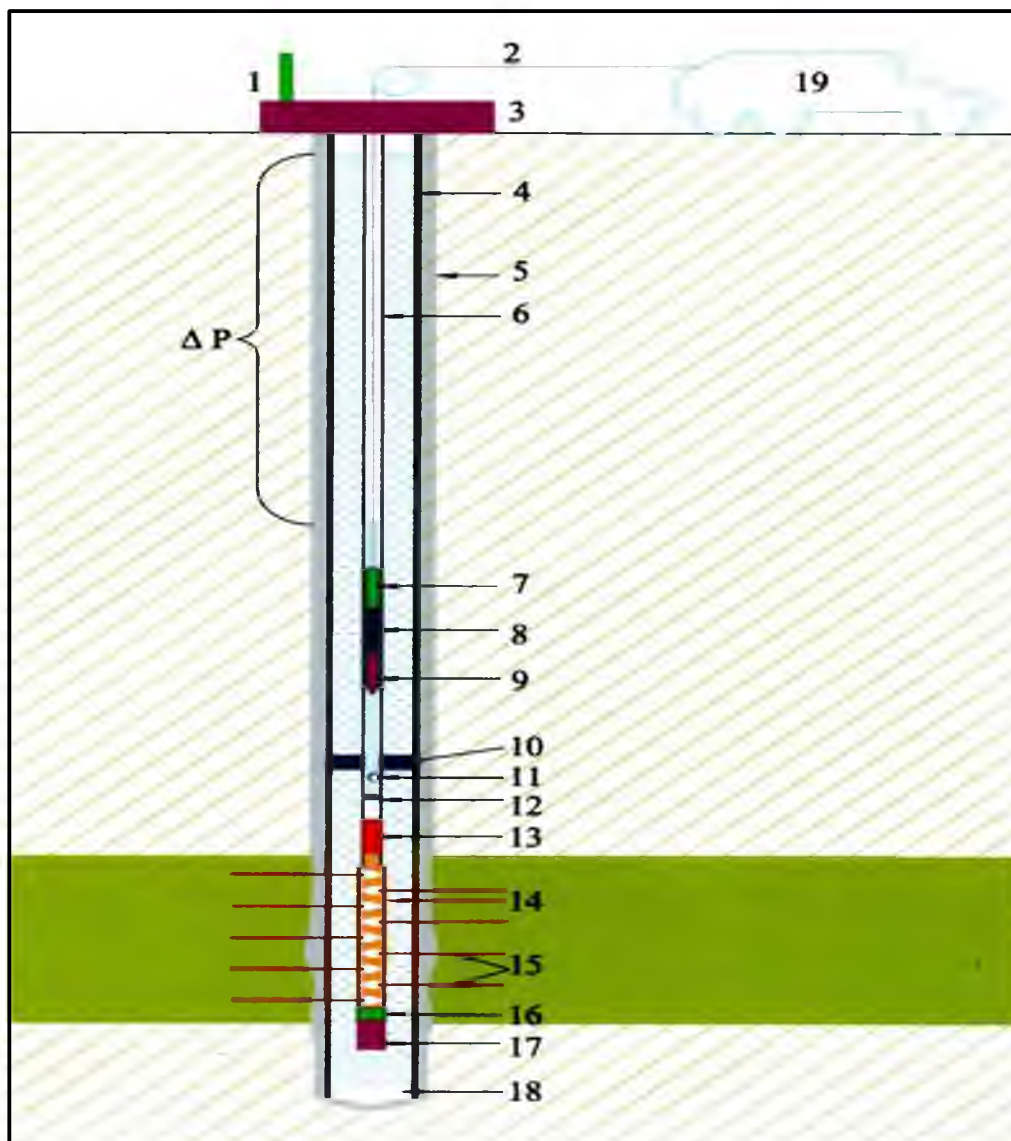
Впервые в практике заканчивания скважин автором, совместно с д.т.н. Шакировым Р.А., предложена технологическая схема, позволяющая на основе разработанного программного обеспечения и измерений в реальном времени определять следующие характеристики при вторичном вскрытии пластов и освоении скважин:

- давление и температуру до подрыва перфоратора;
- давление и температуру в процессе подрыва перфоратора;
- фактическое гидростатическое давление в стволе скважины;
- кривые притока-поглощения;
- текущая продуктивность;
- забойное и пластовое давление;
- потенциальный дебит;
- коэффициент гидродинамического совершенства ПЗП;
- коэффициент пьезопроводности ПЗП;
- коэффициент проницаемости ПЗП;
- величина скин-эффекта;
- радиус дренирования.



**Рис. 5. Функциональная схема оптимизированного вскрытия продуктивных пластов и освоения скважин на основе аппаратно-программного комплекса.**

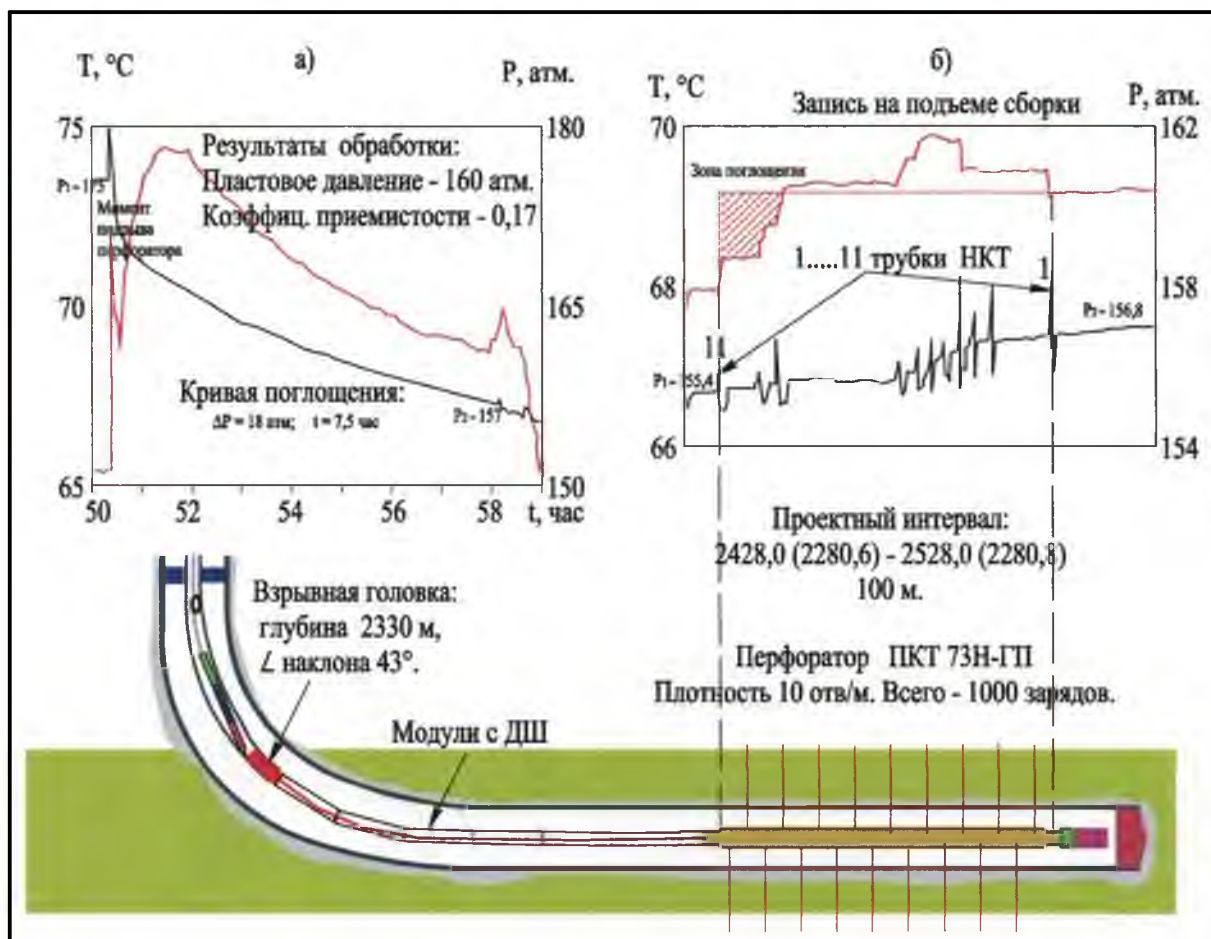
На базе функциональной схемы приведенной на рис.5 автором, под руководством д.т.н. Шакирова Р.А., разработаны технологические схемы управления вскрытием продуктивных пластов перфорационными системами для различных геолого-технических условий. В качестве примера на рис.6 приведена схема реализации технологии вторичного вскрытия пластов перфораторами на НКТ на депрессии в вертикальных и наклонно-направленных скважинах.



**Рис. 6. Технологическая схема освоения при вторичном вскрытии пластов на депрессии в вертикальных и наклонно-направленных скважинах,**  
где:

- |   |   |
|---|---|
| 1. Индикатор срабатывания перфоратора «АНИС»; | 10. Межколонный пакер;                  |
| 2. Каротажный кабель;                         | 11. Циркуляционное окно;                |
| 3. Обвязка устья скважины;                    | 12. Разрушаемая керамическая мембрана;  |
| 4. Обсадная колонна;                          | 13. Взрывная головка ударного действия; |
| 5. Цементный камень;                          | 14. Кумулятивный перфоратор;            |
| 6. Насосно-компрессорные трубы;               | 15. Перфорационные каналы;              |
| 7. Дистанционный ШИП-К;                       | 16. Переходник – амортизатор;           |
| 8. Автономный ШИП-А;                          | 17. Автономная аппаратура АМТП73;       |
| 9. Штанга;                                    | 18. Стоп – кольцо;                      |
|   | 19. Геофизическая станция.              |

Результаты опробования технологии управляемого вторичного вскрытия протяженного горизонтального участка перфоратором на НКТ с разнесенным узлом инициирования представлены на рис. 7.



*Рис. 7. Результаты контроля и управления вскрытием пласта БС 10 в горизонтальной скважине 594/433 Яун-Лорского месторождения перфоратором с разнесенным узлом инициирования.*

На основе результатов исследований при опробовании разработанных технологий можно сделать выводы:

- Разработанный аппаратно-программный комплекс позволяет в режиме реального времени осуществлять контроль вторичного вскрытия продуктивных пластов и управление освоением скважины.
- Разработаны требования к созданию оптимизированной технологии вскрытия продуктивных пластов, что позволяет проводить управление волновым воздействием при интенсификации притока.
- Разработанные автором технологические схемы заканчивания скважины основаны на измерении динамики трансформации манометрических, тепловых и акустических полей в скважине, позволяющих при регистрации их в реальном времени построить оперативную систему «воздействие – изменение информационного поля в скважине – анализ эффективности воздействия».

- Разработанное информационное обеспечение аппаратно – программного комплекса позволяет оперативно получать информацию о 25 основных параметрах процесса вторичного вскрытия и освоения скважины, в результате чего могут приниматься управленческие решения по оптимизации технологии освоения скважины непосредственно на скважине.
- Разработанная технология оперативного управления вторичным вскрытием ПП на основе комплексной регистрации волновых полей в реальном времени позволяет обеспечить эффективное заканчивание горизонтальных и разветвленно-горизонтальных скважин большей протяженности, что является особенно актуальным при разработке и доработке месторождений УВС с трудноизвлекаемыми запасами.
- Результаты экспериментальных исследований разработанной технологии использованы при создании информационного и программного обеспечения подсистемы «Вскрытие пласта и освоение скважин» в комплексе «АРМ – Технолог» (приложение 3 к диссертации).

**В четвертой главе** приведены результаты опытно-промышленного применения в различных геолого-технических условиях на ряде нефтегазовых месторождений РФ. Рассмотрено влияние скважинных условий на результаты вторичного вскрытия пластов при использовании разработанных технологий для ряда пилотных объектов ОАО «Сургутнефтегаз» и ОАО «Газпром».

Показано, что наиболее перспективна технологией управляемого вторичного вскрытия ПП в плане сохранения коллекторских свойств призабойной зоны пласта является перфорация под депрессией, которая может быть реализована на основе двух технологических схем:

- вскрытие пластов перфораторами типа ПКТ, доставляемыми на насосно-компрессорных трубах (НКТ);
- вскрытие пластов доставляемыми на кабеле через НКТ корпусными и бескорпусными перфораторами.

Последняя технология требует оборудования устья скважины специальным герметизирующим устройством (лубрикатором), использования высококачественного геофизического кабеля и малогабаритных перфораторов. Технология вскрытия пластов кумулятивными перфораторами, опускаемыми на НКТ, обеспечивает более высокое качество вскрытия пластов за счет использования мощных зарядов и не засоряет интервал перфорации осколками, более проста и не требует применения лубрикатора, сохраняет крепь скважины и, при необходимости, может обеспечить более высокую депрессию на пласт.

Дополнительные возможности получила технология вскрытия пластов малогабаритными перфораторами, применяемыми для перфорации пластов в разрезах вторых стволов скважин старого фонда, которые доставляются в интервал вскрытия на НКТ или через НКТ на кабеле. В этих «реанимированных» скважинах, наряду с высокой экономической эффективностью, отмечается и более высокий дебит флюида.

Дальнейшее совершенствование методики и технологии вскрытия пластов на депрессии намечается в направлении комплексирования перфорации с методами интенсификации притоков. Например, на некоторых месторождениях Западной Сибири есть необходимость проведения перфорации в средах соляной, ортофосфорной, плавиковой и других кислот.

Следует отметить успешный опыт совместной работы ЗАО «ПерфоТех» с ООО «Сервис-Нафта» в 1998-2001 гг. по реперфорации скважин в Поволжье. Работы проводили в кислотно-щелочных ваннах, предназначенных для разглинизации коллекторов. После перфорации и разглинизации вскрытого интервала следовала операция по вызову притока, что приводило к многократному (до 15 раз!) увеличению дебитов скважин без ввода дополнительных объектов эксплуатации.

По результатам опробования рекомендованы следующие разновидности технологии вторичного вскрытия при депрессии на пласт с герметизированным устьем:

- вскрытие пластов перфораторами, спускаемыми на кабеле через НКТ;
- вскрытие пластов перфораторами, спускаемыми на НКТ;
- вскрытие пластов перфораторами, спускаемыми на НКТ совместно с пакером в эксплуатационных скважинах;
- вскрытие пластов перфораторами, спускаемыми на НКТ совместно с пакером - отсекателем в эксплуатационных скважинах;
- вскрытие пластов перфораторами, спускаемыми на НКТ совместно с пакером и испытательным устройством в разведочных скважинах;
- вскрытие пластов перфораторами в условиях создания многократной (циклической) депрессии с помощью струйных насосов.

Опубликованы многочисленные исследования, в которых причины снижения потенциальных дебитов скважин увязываются с условиями первичного или вторичного вскрытия пластов, а основной причиной ухудшения ФЕС прискважинной зоны называются недостатки технологий вскрытия. Так, при формировании в пласте зоны пониженной проницаемости радиусом 25 см производительность скважины понижается до половины своей потенциальной величины, а при дальнейшем ухудшении проницаемости или увеличении зоны загрязнения дебит продолжает снижаться вплоть до полного прекращения.



Учитывая, что недостатки первичного вскрытия пласта в какой-то степени можно компенсировать при дальнейших этапах строительства скважины, представляют интерес работы по натурному моделированию, в которых изучаются зависимости дебитов скважин от условий вторичного вскрытия.

Анализ опубликованных материалов и результатов ГИС-сопровождения ПВР позволяет выделить наличие четкой зависимости дебита скважины от условий вторичного вскрытия:

- дебит скважины, перфорированной на депрессии, всегда выше, чем дебит скважины вскрытой на репрессии (при прочих равных условиях);
- отмечается превосходство мелкодисперсных (фильтрованных) растворов для перфорации пласта, при условии вызова притока сразу после перфорации;
- дебиты скважин, в которых вторичное вскрытие и освоение выполнены как единая технологическая операция, всегда выше, чем в скважинах, где они разнесены во времени (при прочих равных условиях);
- конструктивные характеристики большинства перфосистем достаточны для создания системы эффективного дренирования ПЗП.

На основании многочисленных исследований в скважинах по регистрации возмущений тепловых и манометрических полей в скважине, вызываемых фактом срабатывания ПВА, определим надежность разработанной системы управления:

#### *Тепловое поле:*

- при срабатывании ПВА аномалия температуры обязательно появляется в интервале расположения перфоратора;
- величина аномалии косвенно коррелируется с количеством сгоревшего ВВ;
- границы аномалии совпадают с границами перфорации непосредственно после взрыва; в дальнейшем границы размываются из-за тепловой конвекции и диссипации энергии пороховых газов;
- аномалия может быть зарегистрирована по времени от долей секунды вблизи перфоратора и до нескольких часов на удалении 100-150 м при всплывании газового пузыря;
- при дилатансии породы аномалия температуры сохраняется в течение нескольких суток;
- при регистрации наземными датчиками аномалия не регистрируется; при регистрации датчиками расположенными вблизи перфоратора аномалия регистрируется всегда;
- изменение формы аномалии является признаком движения жидкости в скважине;
- наличие тепловой аномалии может быть одним из признаков срабатывания ПВР в системе управления.

### ***Поле давления:***

- величина давления в интервале вскрытия зависит от свойств жидкости и заполнения ею ствола скважины;
- момент срабатывания перфоратора отражается на диаграмме как пульсирующее возмущение с крутым фронтом, которое надежно регистрируется на удалении до 300 м;
- изменение давления после перфорации связано с притоком или поглощением жидкости и надежно регистрируется в жидкости, окружающей перфоратор;
- при регистрации системой наземных датчиков отличить сигнал от разбития мембраны и срабатывания перфоратора затруднительно;
- наличие возмущения в поле давления может быть одним из признаков срабатывания ПВР в системе управления.

На основании приведенного выше анализа и сопоставления результатов работ по опробованию управляемого вторичного вскрытия продуктивных пластов сделаны следующие выводы:

1. Для однозначного понимания происходящих в скважине процессов необходима совместная регистрация манометрического и теплового полей.
2. Информация ТГДИ, зарегистрированная в скважине, объективно отражает происходящие в скважине процессы и достаточна для построения системы управления вторичным вскрытием ПП.
3. Для оперативного управления вторичным вскрытием и освоением скважины необходимо получение информации ТГДИ в реальном времени.

На основании результатов промышленного опробования эффективность разработанной технологии для управления вызовом притока и освоением скважины обоснована при выполнении следующих условий:

- В процессе освоения скважины одновременное измерение температуры и давления позволяет оценить состояние призабойной зоны пласта, продуктивность скважины, пластовое давление и дебит. Обработка полученных данных с применением различных алгоритмов системы «Гидрозонд» (ОДМ, операционный метод Баренблатта, нелинейная регрессия на основе решения прямой задачи) подтвердили известный результат о неустойчивости одновременного определения скин-фактора и гидропроводности пласта по кривым притока. Комплексная обработка результатов измерений в скважине с применением программно-аналитического комплекса «Гидрозонд» позволяет оценить эффективность реализации кумулятивно-волнового воздействия на призабойную зону пласта.

- Опробована разработанная методика управления вызовом притока для случая, когда вскрытие пласта и освоение скважины выполнены как отдельные и разнесенные во времени операции. Информационное обеспечение решения этой задачи также построено на базе данных ТГДИ, дополнительно привлекаются результаты испытания пласта после его первичного вскрытия и средние значения гидропроводности пласта по соседним скважинам.
- Отмечается, что потенциальные дебиты скважин, при прочих равных условиях, снижаются по мере увеличения временного интервала между вскрытием пласта и его освоением, и для выравнивания результатов необходимо дополнительное воздействие на ПЗП в процессе освоения скважины.

Для повышения информативности исследований и расширения круга решаемых задач, при проектировании дополнительных методов информационного сопровождения ПВР в скважинах необходимо сохранение помехоустойчивости информационных потоков. Для роста надежности системы управления процессами в скважине следует рассмотреть возможность регистрации различных полей, включая нелинейные, в непосредственной близости от объекта воздействия. Также представляется перспективным применение волновых полей точечно-площадного возбуждения для селективного воздействия на разрабатываемые пласты, что может привести к повышению подвижности пластовых флюидов и увеличению нефтеотдачи сложных объектов разработки.

## **ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ**

1. Разработана технология управления вторичным вскрытием продуктивных пластов и освоением скважин, основанная на комплексной регистрации аномалий волновых и тепловых полей.
2. Предложена концепция управления интенсификаций вызова притока, основанная на совмещении волновых и физико-химических методов воздействия на продуктивный пласт.
3. Разработана оптимизированная технология вторичного вскрытия и оценки продуктивности и фильтрационных свойств пластов-коллекторов на основе измерения в реальном времени нестационарных волновых и тепловых полей.
4. Разработана технология комплексной обработки призабойной зоны пласта, основанная на применении кислотных составов и волнового воздействия, позволяющая повышать коэффициент извлечения нефти из пласта.
5. Разработана технология интенсификации добычи нефти на месторождениях с трудноизвлекаемыми запасами, основанная на комплексировании волнового и

- физико-химического воздействия, позволяющая улучшить фильтрационные характеристики ПЗП и увеличить нефтеотдачу пластов.
6. Разработан компьютеризированный программно-аппаратный комплекс термогидродинамических измерений в процессе вторичного вскрытия продуктивных пластов, позволяющий решать задачи управления качеством вскрытия в реальном времени.
  7. Разработаны математические модели для изучения расформирования аномалий волновых и тепловых полей после кумулятивной перфорации с учетом термодинамических эффектов и заколонных перетоков.
  8. Разработаны технологические схемы для управления вторичным вскрытием и освоением скважин на месторождениях с трудноизвлекаемыми запасами углеводородов.
  9. Результаты диссертационных исследований реализованы в методических и инструктивных документах ОАО «Сургутнефтегаз», а также использованы при создании аппаратно-программных комплексов «АРМ-Технолог» и «АРМ-Геолог».

**Основные положения диссертационной работы** опубликованы в следующих печатных работах:

1. Шакирова Л.Р. Определение эффективности вторичного вскрытия пластов на примере скважины 9803/250 Тевлино-Рускинского месторождения. // В материалах региональной школы-конференции для студентов, аспирантов и молодых ученых по математике и физике. – (28-29 октября 2002, Уфа).
2. Шакирова Л.Р. Моделирование электрических потенциалов, возникающих в обсадной колонне после перфорации. /Валиуллин Р.А., Шарафутдинов Р.Ф., Сорокань В.Ю., Шакиров Р.А. Шакирова Л.Р., Емченко О.В. // НТВ Каротажник. – Тверь, АИС, 2004. - № 14(127). - С.104-112.
3. Шакирова Л.Р. Изучение электрических потенциалов, возникающих в обсадной колонне после перфорации. // В материалах региональной школы-конференции для студентов, аспирантов и молодых ученых по математике и физике. – (30-31 октября 2004, Уфа).
4. Шакирова Л.Р. Новые технологии аппаратно-методического сопровождения прострелочно-взрывных работ при вторичном вскрытии. / Ковалев А.Ф. Шакирова Л.Р., Шакиров Р.А. //НТВ Каротажник. – Тверь, АИС, 2008. - №167. – С. 6-19.
5. Шакирова Л.Р. Изучение состояния призабойной зоны пласта на основе моделирования теплового поля после кумулятивной перфорации скважины. /Валиуллин Р.А., Шакирова Л.Р., Шарафутдинов Р.Ф., Садретдинов А.А. //НТЖ Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – М.: ИПТЭ, 2009. - №4(78). - С. 4-11.
6. Шакирова Л.Р. Анализ состояния призабойной зоны пласта при вторичном вскрытии на основе термогидродинамических исследований. /Шакирова

- Л.Р., Шакиров Р.А., Валиуллин Р.А., Рамазанов А.Ш.//НТЖ Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – М.: ВНИИОЭНГ, 2010. - №9. - С.28-34.
7. Шакирова Л.Р. Методические основы построения физико-геологических моделей при реализации оптимизированной технологии вскрытия продуктивных пластов и заканчивания нефтегазовых скважин./Рукавицын Я.В., Шакирова Л.Р., Бокарев С.А. //НТЖ Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. - М.: ВНИИОЭНГ, 2014. - №5. С.29-33.
  8. Шакирова Л.Р. Системный анализ геолого-технологической информации при строительстве нефтегазовых скважин в осложненных геолого-технических условиях. /Рукавицын Я.В., Лугуманов М.Г., Лугуманов А.М., Шакирова Л.Р. //Тезисы докладов XX-ой научно-практической конференции «Новая техника и технологии геофизических исследований скважин». – (22-23 апреля 2014, Уфа).
  9. Шакирова Л.Р. Повышение эффективности вскрытия продуктивных пластов и заканчивания скважин с использованием нестационарных волновых процессов. /Рукавицын Я.В., Шакирова Л.Р. //НТЖ Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. - М.: ВНИИОЭНГ, 2014. - №6. - С.20-27.
  10. Шакирова Л.Р. Количественная оценка волнового воздействия при вскрытии продуктивных пластов и освоении скважин./ Рукавицын Я.В., Шакирова Л.Р. //НТЖ Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. - М.: ВНИИОЭНГ, 2014. - №7. - С.25-30.
  11. Устройство заряда кумулятивного перфоратора: патент № 2160828 /Шакиров Р.А., Шакирова Л.Р., Пыркин А.И. - 20 декабря 2000 г.
  12. Кумулятивный заряд: патент № 2193152 /Шакиров Р.А., Шакирова Л.Р. и др. - 20 ноября 2002 г.
  13. Устройство для гидродинамического каротажа обсаженных скважин: патент № 2203413 / Шакиров Р.А., Шакирова Л.Р. – 27 апреля 2003 г.
  14. Способ гидродинамического каротажа: патент № 2208155 /Шакиров Р.А., Шакирова Л.Р. - 10 июля 2003г.

Соискатель

Л.Р. Шакирова