

**Цику Юрий Кимович**

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ И  
ОПТИМИЗАЦИИ ВЫРАБОТКИ ЗАПАСОВ МНОГОПЛАСТОВЫХ  
ОБЪЕКТОВ ПРИ ОДНОВРЕМЕННО-РАЗДЕЛЬНОЙ  
ЭКСПЛУАТАЦИИ  
(НА ПРИМЕРЕ РУССКИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ)**

Специальность 25.00.17 – «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений»

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва – 2015

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)» и в лаборатории техники и технологии исследования скважин Сургутского научно-исследовательского и проектного института нефтяной промышленности «СургутНИПИнефть» ОАО «Сургутнефтегаз»

Научный руководитель: – **Федоров Вячеслав Николаевич**  
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: – **Иктисанов Валерий Асхатович**  
доктор технических наук, профессор, Татарский научно-исследовательский и проектный институт нефти «ТатНИПИнефть», главный научный сотрудник отдела исследования скважин, коллекторов и углеводородов

– **Курамшин Ринат Мунирович**  
кандидат технических наук, доцент кафедры "Теоретических основ поисков и разведки нефти и газа" Российского Государственного университета нефти и газа им. И.М.Губкина

Ведущая организация: Общество с ограниченной ответственностью «Научно-производственное предприятие «Уфанефтепроект ЦТ»

Защита состоится 17 апреля 2015 года в 12:00 часов на заседании диссертационного совета Д 002.059.04 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (ИМАШ РАН) по адресу: 119334, Москва, ул. Бардина, д.4.

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

Автореферат разослан 17 марта 2015 года.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат технических наук



Г.Н. Гранова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность работы

В 20 веке нефтяная промышленность в СССР, а затем и России, развивалась по пути освоения новых территорий, новых нефтегазоносных провинций. Активно приращивались запасы углеводородов за счет ввода в эксплуатацию крупных месторождений. Однако сегодня большинство крупных месторождений находятся на 3 или 4-ой стадиях разработки, а новые вводятся с трудноизвлекаемыми запасами с низким уровнем рентабельности.

В этой ситуации нефтяные компании стараются поддерживать текущий уровень добычи за счет вовлечения ранее не разрабатываемых запасов существующих месторождений, как правило, это сложнопостроенные низкопроницаемые участки или отдельные объекты разработки. Для извлечения нефти и газа в таких условиях применяются новые технологии, такие как зарезки боковых, в том числе горизонтальных, стволов, гидроразрыв пласта (ГРП), используются всевозможные химические составы для увеличения охвата заводнением. Современные технологии позволили получить промышленный приток из низкопроницаемых коллекторов, разработка которых ранее считалась экономически нецелесообразной. В целом нефтяная отрасль перешла на новый технический уровень, разрабатывается оборудование, способное решать сложные технологические задачи, такие как одновременно-раздельная эксплуатация (ОРЭ) объектов разработки многопластовых месторождений в одной скважине.

Технологии одновременно-раздельной добычи (ОРД) и закачки (ОРЗ) были известны еще в 50-х годах прошлого века, однако в силу отсутствия надежного оборудования не получили развития. Современное состояние структуры запасов предопределило необходимость форсирования процесса внедрения технологий ОРЭ, что позволяет сократить капитальные вложения на строительство дополнительных скважин, кустов. Рентабельная разработка некоторых объектов, а также многопластовых месторождений с существенно различающимися фильтрационно-емкостными свойствами по отдельным пластам возможна только с использованием ОРЭ.

Однако в целях недопущения разубоживания ресурсов применение одновременно-раздельной разработки должно соответствовать Правилам охраны недр и отвечать следующим требованиям:

- Создание необходимой для подъема флюида депрессии на пласты;
- Раздельный учет продукции сертифицированными средствами учета;
- Обеспечение контроля процесса разработки отдельно для каждого пласта;
- Возможность проведения безопасного ремонта со сменой подземного оборудования с учетом различия пластового давления по отдельным пластам многопластового месторождения.

Проектами на разработку месторождений должна предусматриваться одновременно-раздельная эксплуатация продуктивных пластов. Для их эффективного использования необходимо проектировать совмещенную сетку скважин на новых месторождениях. В настоящее время пройден этап, когда технологии ОРЭ не включались в проектные документы ввиду отсутствия надежного технологичного оборудования, а такое оборудование не разрабатывалось ввиду отсутствия необходимости согласно проектным документам и единственным сдерживающим элементом их массового внедрения является отсутствие технологий и методик контроля и регулирования разработки отдельных пластов многопластовых месторождений. Это определяет актуальность исследования и разработки методов контроля и регулирования выработки запасов многопластовых объектов при одновременно-раздельной эксплуатации.

### **Цель работы**

Повышение эффективности разработки многопластовых месторождений с существенно различными фильтрационно-емкостными свойствами путем применения технологий ОРЭ, разработки методов и технологий контроля разработки каждого из пластов для обеспечения регулирования выработки запасов.

### **Основные задачи для решения поставленной цели**

1. Анализ текущей разработки многопластового Русскинского месторождения с низкопродуктивными пластами юрских отложений.

2. Анализ и разработка технологий ОРЭ и ОРЗ.
3. Анализ существующих методов контроля выработки запасов многопластовых месторождений проведением геофизических и гидродинамических исследований скважин.
4. Анализ взаимного влияния пластов при совместной работе в одной скважине.
5. Обоснование и разработка методики определения доли участия отдельных пластов в общем дебите скважины и фильтрационных параметров коллекторов многопластового месторождения. Опробование методики и технологий исследований в скважинах Русскинского месторождения ОАО «Сургутнефтегаз».
6. Обоснование экономической эффективности применения технологий ОРЭ. Анализ выбытия скважин из эксплуатационного фонда в процессе разработки месторождений Западной Сибири.
7. Анализ показателей разработки многопластового Русскинского месторождения на гидродинамической модели сравнением варианта разработки с самостоятельной сеткой скважин на каждый пласт и варианта с одновременно-раздельной разработкой пластов. Анализ сроков достижения проектных КИН по пластам.

### **Объект исследования**

Объектом исследования является Русскинское месторождение – типовое многопластовое нефтяное месторождение Западной Сибири.

### **Научная новизна**

1. Научно обоснованы и разработаны критерии применения различных компоновок оборудования для одновременно-раздельной эксплуатации многопластовых месторождений.
2. Разработана научно обоснованная методика термогидродинамических исследований скважин с оборудованием ОРЭ, основанная на раздельных замерах дебита путем отключения одного из пластов, проводя в этот период времени на других пластах термогидродинамических исследований на неустановившихся режимах фильтрации.

3. Разработана и научно обоснована методика определения неблагоприятных факторов при контроле динамики изменения скважинных и пластовых параметров по результатам регулярного проведения термогидродинамических исследований многопластовых скважин для планирования адресных геолого-технических мероприятий.

4. Выявлено, что оборудование одновременно-раздельной эксплуатации многопластовых месторождений позволяет обеспечить проектный коэффициент извлечения нефти с технико-экономической эффективностью до 28 %.

### **Защищаемые положения**

1. Критерии применимости технологий ОРЭ на разных стадиях разработки нефтяных месторождений. Методика подбора подземного оборудования, граничные условия применения компоновок ОРЭ и ОРЗ.

2. Методика проведения термогидродинамических исследований в скважинах с ОРЭ для определения фильтрационно-емкостных свойств каждого из пластов многопластового объекта, а также определения доли вклада каждого пласта в общий дебит скважины при совместной эксплуатации.

3. Методика определения неблагоприятных факторов при контроле динамики изменения скважинных и пластовых параметров по результатам регулярного проведения термогидродинамических исследований многопластовых скважин для планирования адресных геолого-технических мероприятий.

### **Практическая реализация**

1. Разработанное оборудование позволило вовлечь в разработку залежь пласта ЮС1/1 Русскинского месторождения. Разработка этого пласта отдельной сеткой скважин нерентабельна. Средний прирост дебита нефти от приобщения пласта составил 8,5 т/сут, дополнительная добыча нефти за 2011-2013г. составила 19,320 тыс. т.

2. Определена критическая наработка конструкций ОРЗ, что позволило снизить затраты на не эффективные ремонты скважин и минимизировать аварийность скважинного оборудования.

3. Используя разработанные методики, регулярно проводятся термогидродинамические исследования скважин с оборудованием ОРЭ, обеспечивая планирование адресных и эффективных ГТМ.

### **Развитие работы**

1. В работе доказано отсутствие взаимного влияния потоков жидкости низкопродуктивных пластов в стволе скважины. Изучение взаимного влияния высокопродуктивных пластов является предметом дальнейшего изучения.

2. Совершенствование конструкций ОРЭ различных видов. Повышение эксплуатационной надежности оборудования.

3. Создание автоматизированной системы разработки многопластового месторождения, способной комплексно обрабатывать результаты всего множества проводимых термогидродинамических исследований скважин, проводить мониторинг проблемных участков и регулировать систему разработки.

### **Апробация результатов работы**

Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на: IV международной научно-практической конференции «21 век: фундаментальная наука и технологии», 2014г., X Международной конференции и выставке «Механизованная добыча 2013», 2013г., производственно-техническом семинаре «Практика применения ОРД и ОРЗ, проектирования и интеллектуализации разработки многопластовых месторождений», 2012-2014г., тринадцатой научно-практической конференции «Пути реализации нефтегазового и рудного потенциала Ханты-Мансийского автономного округа – Югры», 2010г., научно-технических конференциях ОАО «Сургутнефтегаз», (2010-2014г.).

### **Публикации**

Результаты выполненной работы отражены в 12 печатных работах, в том числе в 3 изданиях, рекомендованных ВАК РФ, и 3 патентах на полезную модель.

### **Структура работы**

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, основных результатов и выводов, списка использованных источников из 143 наименования

и двух приложений. Текст диссертационной работы изложен на 146 страницах, включая 55 рисунков и 18 таблиц.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, обозначена цель и основные задачи на пути к ее решению, определена научная новизна и практическая значимость работы.

**В первой главе** представлена характеристика Русскинского многопластового нефтяного месторождения. Проведен анализ текущего состояния разработки месторождения и проектных решений. Анализ выработки запасов различными методами, результаты трассерных исследований.

Рассмотрен район нагнетательной скважины 595 Русскинского месторождения. Сначала объекты ЮС1/1 и ЮС2/1 разрабатывались самостоятельными сетками скважин, но в силу получения малого дебита при вскрытии пласта ЮС1/1 бурение на него признано нерентабельным. На данном участке проводятся опытно-промышленные работы по внедрению ОРЭ. ППД обеспечивает скважина ОРЗ 595, закачка ведется по двум лифтам, в скважины 589 и 605 спущены компоновки ОРД с клапаном-отсекателем с гидравлическим приводом. Таким образом, благодаря внедрению ОРЭ, удалось начать отбор тех запасов, разработка которых ранее считалась экономически нецелесообразной. Экономическая эффективность от внедрения ОРД составила 4,5 млн. рублей, затраты на капитальный ремонт по приобщению пласта ЮС1 окупались в первый год после внедрения ОРЭ.

Проведен анализ современных систем одновременно-раздельной эксплуатации многопластовых месторождений. Представлена классификация систем ОРЗ и ОРД.

Системы ОРЗ подразделяются на однолифтовые и двухлифтовые. Определены оптимальные системы для существующих организационно-технических условий, показавшие высокий уровень надежности, разработан стандарт предприятия по работе с ОРЗ.

По методам контроля выработки запасов конструкции ОРЭ разделяются следующим образом:

*ОРЭ с одним насосом и геофизическими приборами;*

*ОРЭ с двумя насосами;*

*ОРЭ с разобщением пластов для замера;*

Сделаны выводы о применимости различных видов конструкций в условиях Русскинского многопластового месторождения.

Выполнен анализ современных геофизических и гидродинамических методов контроля разработки многопластовых объектов нефтяных месторождений при одновременно-раздельной эксплуатации. Основной задачей исследований является информационное сопровождение разработки месторождений на всех этапах о фильтрационных свойствах и продуктивных характеристиках пластов и скважин.

Методами барометрии изучается изменение давления во времени или градиента давления по стволу скважины. При регистрации давления на забое скважины неподвижным манометром определяют такие параметры как забойное, пластовое, гидростатическое давление. Регистрируя процесс восстановления забойного давления после остановки работающей скважины до величины пластового давления, получают кривую восстановления давления (КВД), последующая обработка которой позволяет определить модель пластовой фильтрационной системы и фильтрационные параметры.

Методы термометрии позволяют определять работающие интервалы и относительные дебиты каждого из отдельных пластов при их совместной разработке. Они основаны на регистрации аномалий температуры, вносимых каждым продуктивным пластом. Интервалы поступления жидкости в скважину отмечаются по изменению температуры относительно геотермической за счет дроссельного эффекта и эффекта калориметрического смешивания.

Достоинства термометрии: возможность выделения слабых притоков пластового флюида; цемент и колонна «прозрачны» для температурного сигнала.

При проведении исследований методом термометрии на достоверность регистрируемых данных геофизическим прибором, спускаемым на кабеле, влияет нестационарность притока при кратковременных отработках скважины (вызов притока путем снижения уровня в межтрубном пространстве

компрессором), скорость перемещения прибора, которая оказывает существенное влияние на выявление термодинамических эффектов.

Таким образом, для исследований в скважинах ОРЭ создаются благоприятные условия: стационарный режим, мгновенные включения и отключения пластов, регулярность проведения исследований. Конструкции ОРЭ позволяют решать одновременно две задачи: замер дебита и обводненности открытого пласта и термо-гидродинамические исследования (ТГДИ) закрытого пласта. Требуемая регулярность определения отдельного дебита пластов позволяет регулярно и более качественно проводить ТГДИ, что практически невыполнимо в обычных однопластовых скважинах.

Комплексный анализ всех видов исследований дает информацию о динамике пластового давления по объектам, площадном распределении фильтрационных свойств, динамике скин-фактора скважин, взаимном влиянии скважин, характере выработки пласта.

**Во второй главе** рассматриваются методы определения параметров многопластовых объектов. Предложена методика определения продуктивных характеристик пластов, а также фильтрационно-емкостных свойств коллекторов. Промысловая информация в достаточном объеме позволяет контролировать процесс разработки.

Ключевой задачей контроля за разработкой месторождений нефти является анализ выработки запасов. Особую актуальность эта задача приобретает при разработке сложнопостроенных многопластовых месторождений. Термометрия является одним из наиболее информативных для решения представленной задачи. ТГДИ позволяют качественно и надежно определить работающие интервалы многопластового объекта, вклад по дебиту в общий дебит скважины каждого пласта в отдельности. Барометрия позволяет определить фильтрационные характеристики эксплуатируемых пластов, такие как проницаемость, гидропроводность, скин-фактор и др. В совокупности результаты комплексных ТГДИ позволили выявить оптимальный технологический режим работы скважин, контроля и регулирования процесса разработки месторождения, планирования геолого-технологических мероприятий.

Для получения информации о каждом продуцирующем пласте датчики давления и температуры размещаются у кровли каждого пласта многопластового объекта. Схема компоновки для проведения исследований при ОРЭ показана на рисунке 1.

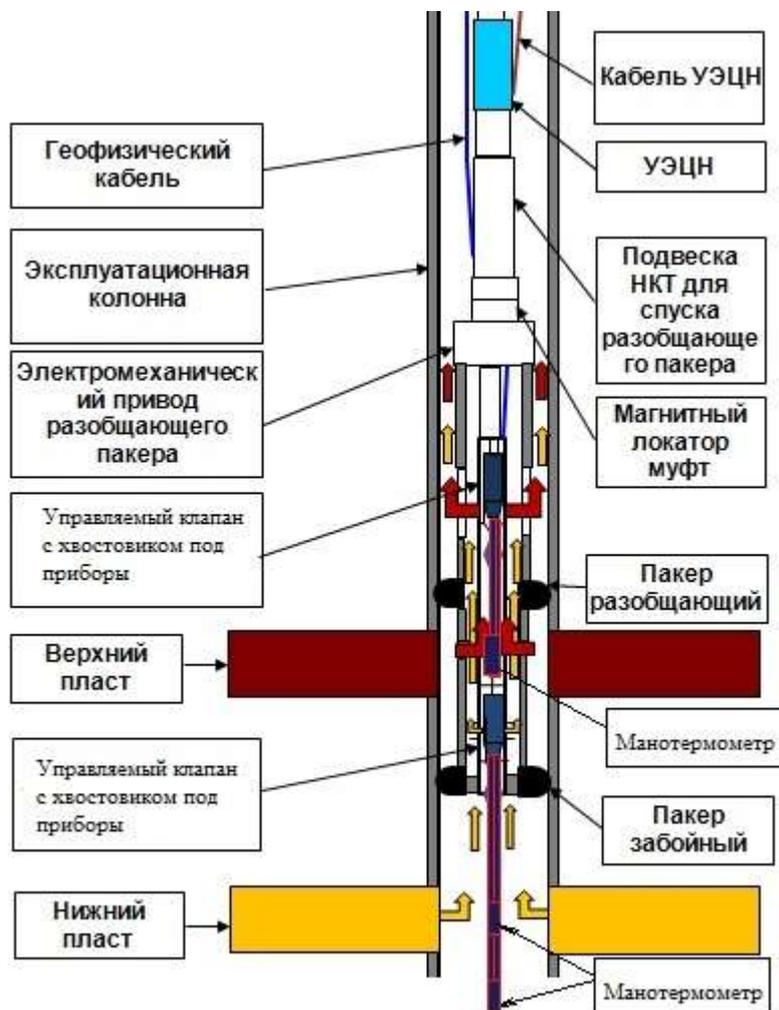


Рисунок 1 – Компоновка ОРЭ с одним ЭЦН и возможностью отсечения любого пласта для проведения исследований.

Исследования на установившихся режимах основаны на создании нескольких циклов заданных депрессий (минимум двух) с замерами дебитов жидкости. Изменения режима работы осуществляется использованием станции управления УЭЦН с преобразователем частоты. На основе результатов исследований строится индикаторная диаграмма (ИД). Целью исследований является определение коэффициента продуктивности скважины и оптимальной депрессии на пласт.

Исследование скважины на неустановившихся режимах фильтрации производится методом регистрации КВД. На барограммах выделяются характерные точки смены режимов работы скважин, определяются перепады давления и температуры в данных точках и рассчитываются коэффициенты Джоуля-Томсона.

Особенностью скважин ОРЭ при использовании компоновок с отсечением пластов является одновременное проведение исследований на установившемся режиме по одному пласту и исследований на не установившемся режиме по второму пласту. Схематично изменения дебита и давления при исследованиях на установившихся и не установившихся режимах приведены на рисунках 2 и 3.

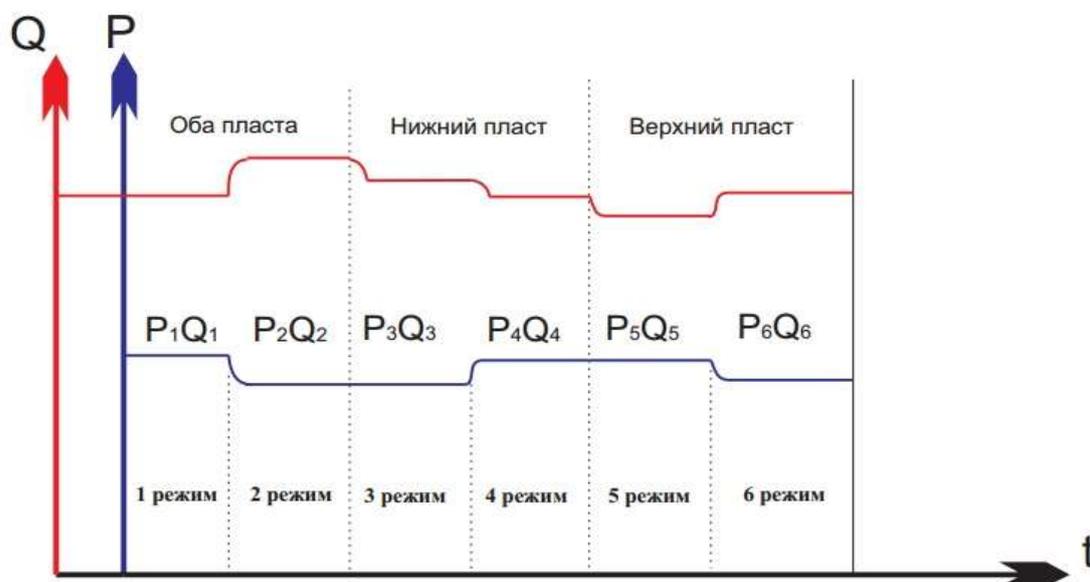


Рисунок 2 – Изменение дебита и давления на приеме насоса при проведении исследований.

В работе представлены наиболее известные методики и алгоритмы обработки и интерпретации результатов термогидродинамических исследований И.Д.Амелина, М.Маскета, И.А.Чарного, Хорнера, Г.И.Барренблатта, Ю.П.Борисова, С.Г.Каменецкого, А.П.Крылова, Э.Б.Чекалюка.

При проведении термодинамических исследований изучается изменение температуры после пуска скважины в работу, обусловленное проявлением баротермического (при нестационарной фильтрации пластовой жидкости) и дроссельного эффекта Джоуля-Томсона (при стационарной фильтрации). В

начальные моменты времени после «мгновенного» пуска скважины в работу в стволе скважины проявляется адиабатический эффект расширения и затем баротермический эффект разогрева дросселирующейся жидкости.



Рисунок 3 – Изменение давления, регистрируемые приборами напротив кровли пластов, при проведении исследований.

Для определения количественного вклада каждого работающего пласта в общий дебит скважины решено уравнение сохранения энергии потока в многопластовой скважине относительно скоростей фильтрации в каждом пласте в начальный момент времени работы  $\tau$ :

$$\left(\frac{\partial T}{\partial \tau}\right)_i + \frac{r_0 u_{i0}}{r_c} \left[ \left(\frac{\partial T}{\partial r}\right)_i + \xi_i \left(\frac{\partial P}{\partial r}\right)_i \right] = 0, \quad (1)$$

где  $\frac{\partial T}{\partial \tau}$  - темп изменения температуры напротив исследуемого пласта, К/с;  $\frac{\partial T}{\partial r}$  -

градиент температуры в пласте, К/м;  $\frac{\partial P}{\partial r}$  - градиент давления в пласте, Па/м;  $r_0$  -

радиус скважины, м;  $\xi$  - коэффициент Джоуля-Томсона, К/Па;  $u = \gamma \frac{c_p}{c_{\Pi}} v$  -

скорость конвективного переноса тепла в пористой среде, м/с;  $c_{\Pi}$  - теплоемкость

пористой среды, Дж/(м<sup>3</sup>\*К);  $c_p$  - теплоемкость системы при постоянном внешнем давлении (изобарная теплоемкость), Дж/(кг\*К);  $\gamma$  - объемный вес пластового флюида, кг/м<sup>3</sup>;  $v$  - скорость фильтрации пластового флюида, м/с;  $i$  – номер пропластка.

Отношение скоростей фильтрации  $K$ , прямо пропорционально отношению темпов изменения температуры напротив исследуемых интервалов:

$$K = \frac{v_i}{v_{i+1}} \equiv \frac{\left(\frac{\partial T}{\partial \tau}\right)_i}{\left(\frac{\partial T}{\partial \tau}\right)_{i+1}} \quad (2)$$

Таким образом, коэффициент пропорциональности скоростей фильтрации  $K$  в исследуемых интервалах определяется отношением производных температуры в начальный период времени  $\tau$  работы скважины ( $\tau \approx 10_{мин}$ ).

Темпы изменения температуры  $\left(\frac{\partial T}{\partial \tau}\right)_i$  определяются графическим способом, путем проведения касательных к начальным участкам термограмм (рисунок 4).

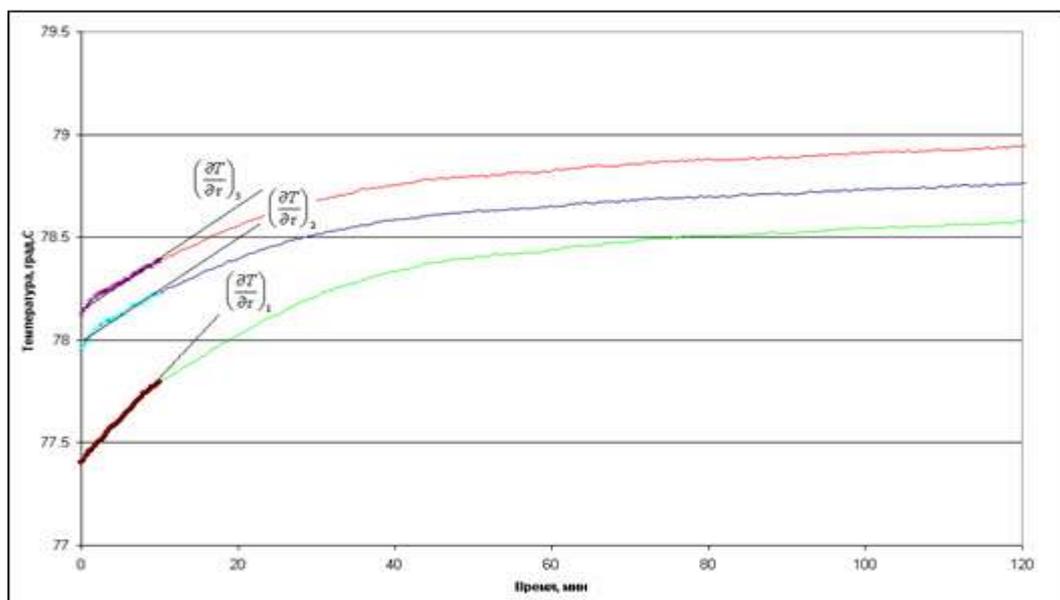


Рисунок 4 – Определение производных температуры по термограммам

Технологические особенности оборудования ОРЭ, такие как изоляция пластов, благодаря которой исключается влияние столба жидкости при регистрации КВД, а также обеспечивается возможность создания мгновенной

депрессии на пласт открытием клапана, позволяя обеспечить важные условия для гидродинамики и термометрии.

**В третьей главе** представлены технико-технологические решения по контролю и регулированию разработки при ОРЭ. Рассмотрены основные схемы одновременно-раздельной закачки. Двухтрубная концентричная компоновка является универсальной для всех скважин ОРЭ на два пласта, позволяет производить контроль и оперативное регулирование системы ППД. Экономический эффект от внедрения ОРЭ складывается из отказа от бурения дополнительной скважины на второстепенный пласт.

Выпускаемые отечественными и зарубежными компаниями-производителями компоновки ОРЭ имеют значительные ограничения: диаметр эксплуатационной колонны должен быть не менее 178 мм для дуальных систем зарубежного производства; глубина спуска оборудования с использованием УШГН не может быть ниже 1600-1800 м; для компоновок с УЭЦН дебиты пластов должны обеспечивать работу насосов в постоянном режиме.

Таким образом, оборудование ОРЭ необходимо подбирать с учетом индивидуальных геолого-технических особенностей каждой скважины. Например, в условиях относительно неглубоких пластов Урала и Татарии успешно работают компоновки «ШГН + ШГН» и «ШГН + ЭЦН»; для высокопродуктивных меловых отложений Западной Сибири применимы различные модификации компоновок с УЭЦН. В настоящее время освоен серийный выпуск таких компоновок, что представляет практический интерес и облегчает их использование.

Однако юрские отложения Западной Сибири залегают на глубинах около 3000 м и имеют невыдержанную по своим свойствам структуру, чаще всего дебит скважин по жидкости составляет 8-12 м<sup>3</sup>/сут. Самостоятельно такие скважины эксплуатировать нерентабельно. Разработаны и внедрены схемы ОРЭ двух пластов, один из которых (или оба) является низкопродуктивным (Патент РФ № 131074 RU). Эта технология обеспечивает эксплуатацию многопластового объекта одним ЭЦН (рисунок 5). Между пластами стационарно установлен пакер с клапаном-отсекателем (гидравлического или электромеханического действия). В штатном режиме замеряется суммарный дебит и обводненность

двух пластов. Для определения параметров по пластам - закрывается клапан-отсекатель и отсекает нижний пласт. Положение клапана определяется по изменению режима работы скважины на основании данных термоманометрической системы (ТМС) и росту давления по отсеченному пласту, регистрируемому подклапаным датчиком. В автоматизированной групповой замерной установке (АГЗУ) замеряется дебит и обводненность верхнего пласта на той же депрессии, что и при совместной работе двух пластов. Дебиты жидкости и нефти нижнего пласта определяются как разность между суммарными параметрами и замерами верхнего пласта.

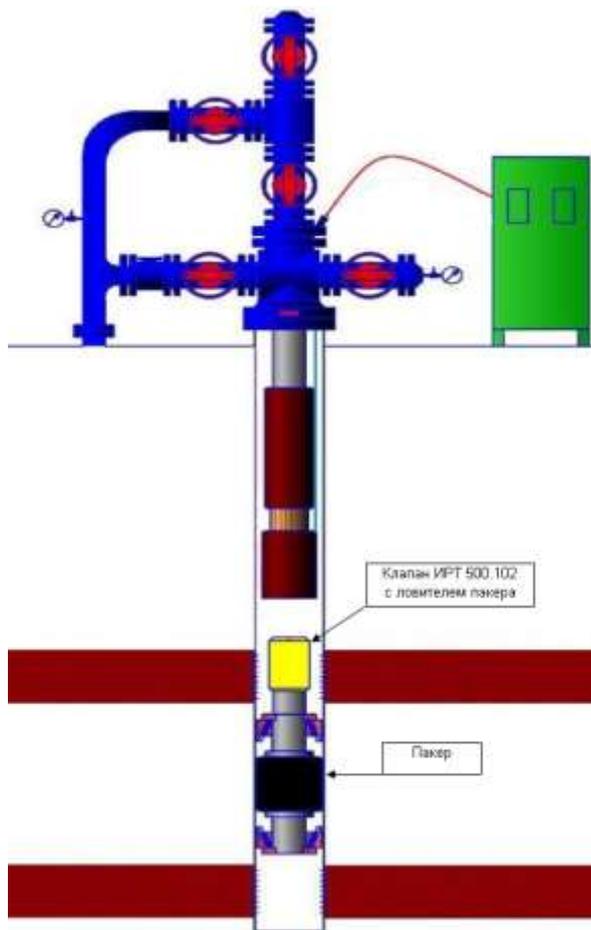


Схема компоновки совместной эксплуатации двух пластов с гидравлическим клапаном-отсекателем.

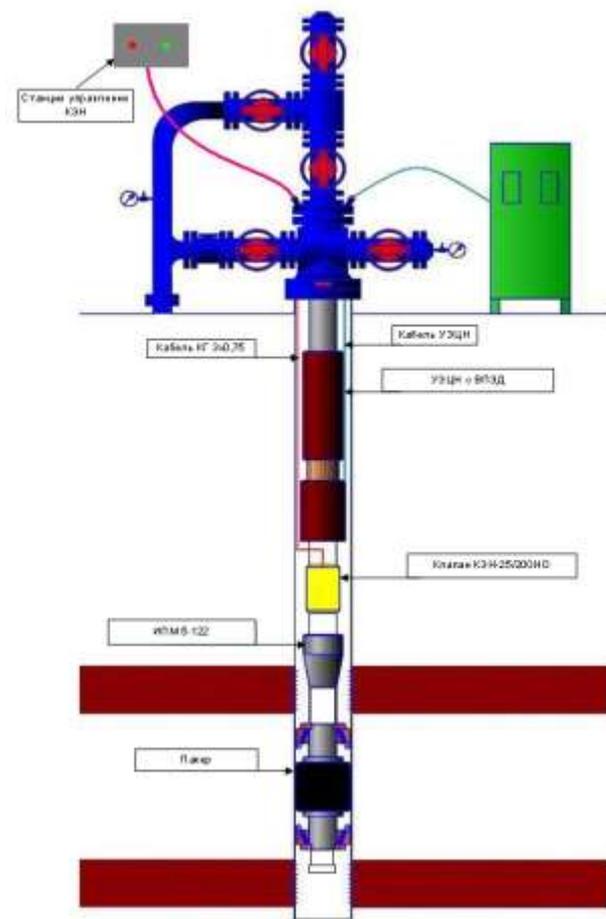


Схема компоновки совместной эксплуатации двух пластов с электрическим клапаном-отсекателем.

Рисунок 5 - Схемы компоновок ОРЭ с клапанами-отсекателями

Разработана схема ОРЭ двух пластов с возможностью отсечения и регулирования отбора из обоих пластов (рисунок 6). В подпакерных пространствах установлены клапана-регуляторы и геофизические приборы. В нормальном режиме оба пласта работают совместно и при необходимости отборы можно регулировать. Для замера параметров одного из объектов – второй перекрывается клапаном, при этом прибор записывает КВД и термограмму второго пласта. Таким образом, в процессе эксплуатации скважины регулярно определяются фильтрационные и продуктивные характеристики по пластам.

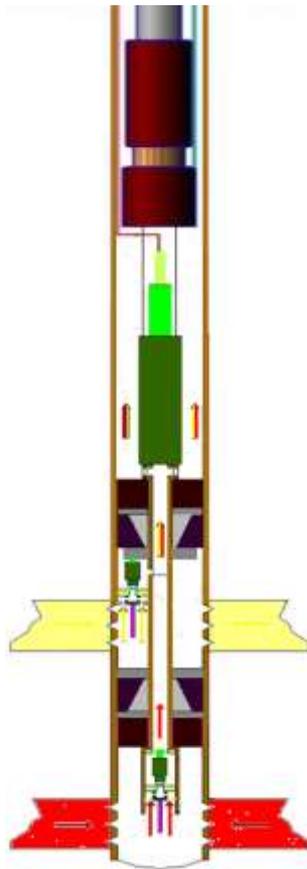


Рисунок 6 - Схема ОРЭ с двумя клапанами-регуляторами отбора

Классифицированы существующие системы ОРЭ, создана методика подбора оборудования с учетом ожидаемых дебитов и необходимой депрессии, а также предложены алгоритмы определения отдельных параметров по пластам для всех видов компоновок.

**В четвертой главе** обобщены результаты внедрения и эксплуатации систем ОРЭ и ОРЗ.

Оборудование для ОРЗ эксплуатируется в экстремальных условиях – коррозионно активная среда и высокие скорости потока воды. Данные условия приводят к повышенному износу узлов и материалов. Многолетний опыт работы с ОРЗ позволил выявить зависимость наработки оборудования от приемистости скважины. Используя эмпирически выявленную зависимость, в НГДУ «Комсомольскнефть» регламентирован срок эксплуатации (в среднем 1200 сут), после которого необходимо производить смену НКТ и ревизию оборудования. При большей наработке оборудования возрастает риск промыва НКТ и создания аварийной ситуации. Предлагается регламентировать на предприятиях, использующих системы ОРЗ, критическую наработку в целях предотвращения аварий. Увеличение наработки оборудования возможно за счет применения более износостойких материалов или различных полимерных покрытий НКТ, что является предметом дальнейшего изучения.

Выполнены ТГДИ многопластовых скважин с помощью оборудования ОРЭ. Разработанная технология исследований и методика обработки позволили обеспечить получение информации о продуктивных характеристиках скважин, фильтрационно-емкостных свойствах пластов и изменении параметров во времени. Данная информация позволила обеспечить высокоэффективное адресное планирование геолого-технических мероприятий.

По результатам обработки кривых восстановления давления определены параметры каждого из пластов в призабойной и удаленной зонах, термограммы позволили оценить вклад каждого из пластов в общий дебит скважины. Данные по коэффициентам продуктивности пластов в общий дебит скважины, полученные при отдельных замерах на наземных замерных установках, сопоставляются с геофизическими данными, снятыми при помощи глубинных расходомеров до спуска компоновок, а также сравниваются с результатами термодинамических исследований при совместной эксплуатации двух пластов. При анализе проведенных исследований тремя различными способами достигнута высокая сходимость результатов, коэффициенты продуктивности каждого пласта, определенные разными методами, совпадают.

На основании проведенных исследований сделан вывод о том, что при совместной эксплуатации пластов с дебитами до 20-25 м<sup>3</sup>/сут в условиях

Русскинского месторождения взаимного влияния пластов друг на друга не происходит, коэффициенты продуктивности при совместной эксплуатации (определенные по ГИС, ТГИ) соответствуют коэффициентам при раздельном замере с отключением одного из пластов. Изучение влияния высокопродуктивных пластов друг на друга при совместной эксплуатации является предметом дальнейших исследований.

В зависимости от геологических особенностей и организационно-технической ситуации в нефтяной компании системы ОРЭ внедряются на различных стадиях разработки месторождений. На поздних стадиях разработки с помощью ОРЭ приобщаются ранее не дренируемые участки залежей, повышая рентабельность добычи нефти и продлевая срок эксплуатации скважин. Внедрению технологий ОРЗ и ОРЭ на поздних этапах разработки способствует большое количество скважин, работающих на грани рентабельности. Чаще всего по основным объектам разработки КИН еще не достигнут, поэтому не удается, отключив выработанный пласт, переходить на новый. ОРЭ решает проблему довыработки запасов и одновременного вовлечения в разработку новых пластов или отдельных залежей углеводородов.

В настоящее время ОРЭ внедряется на этапе строительства скважин, что позволило существенно повышать уровни добычи нефти, ускоренными темпами вводить месторождения в разработку, более равномерно выработывать запасы по пластам. Экономически выгоднее вводить сразу два пласта, чем отработав один пласт приобщать второй, по следующим причинам: объем работ и, соответственно, затраты при строительстве увеличиваются только на одну операцию по вскрытию дополнительного пласта, а после отработки необходимо проведение полноценного КРС по приобщению пласта со всеми подготовительными и сопутствующими операциями; выполненный анализ выбытия скважин показывает, что в процессе разработки увеличивается доля выбывших скважин из эксплуатационного фонда в ликвидацию (к тридцатому году разработки 28 % фонда), в результате чего не все зоны приобщаемого пласта могут быть вовлечены; расчет модели участка Русскинского месторождения показывает, что время разработки до достижения КИН по

пластам традиционным методом выше, чем при использовании одновременно раздельной разработки.

Создана гидродинамическая модель участка Рускинского месторождения для сравнения одновременно-раздельной разработки пластов ЮС1/1 и ЮС2/1 с классической последовательной разработкой (рисунок 7).

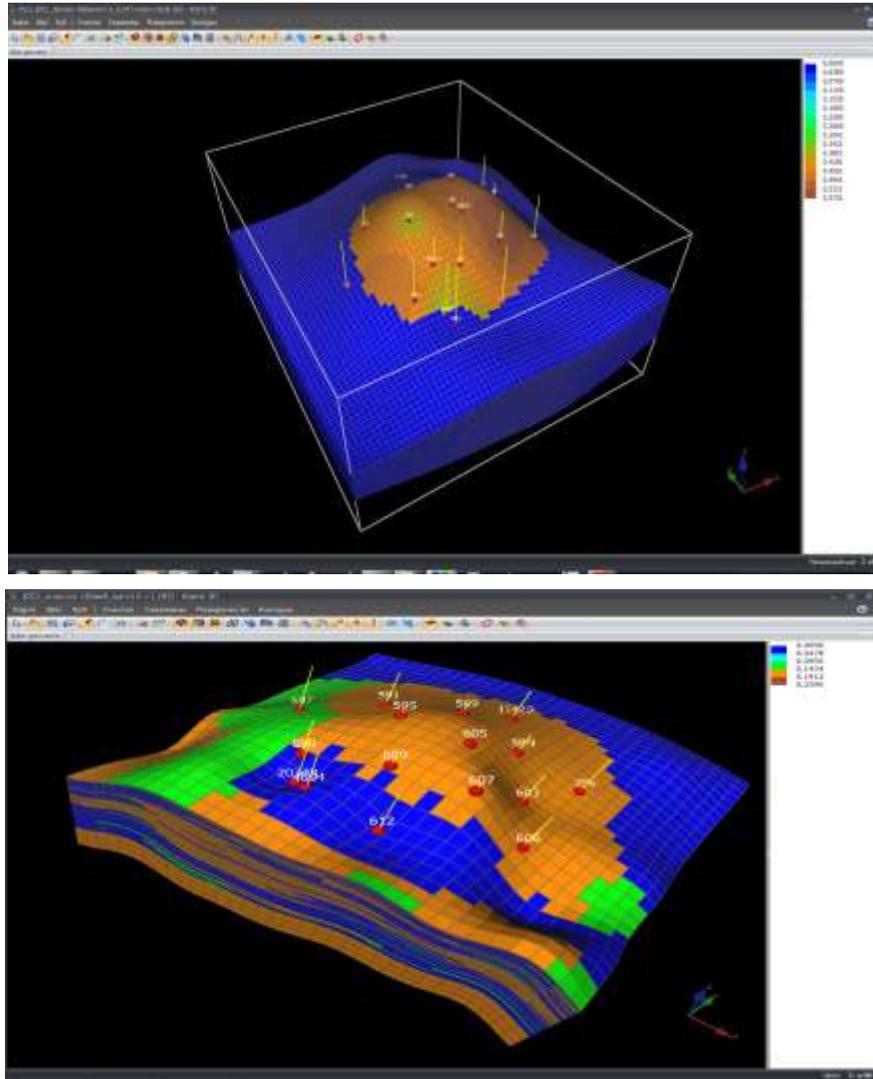


Рисунок 7 - Гидродинамическая модель участка Рускинского месторождения пласты ЮС1/1 и ЮС2/1.

При одновременной разработке объектов проектные значения КИН достигаются на 11,25 лет раньше, чем при последовательной.

По первому варианту (рисунок 8) пласты разрабатываются по очереди сначала ЮС2/1, затем при снижении дебита нефти менее 1 т/сут скважины переводятся на ЮС1/1. Суммарное время разработки до достижения проектных КИН получается 31,25 лет с накопленной добычей нефти 489,3 тыс. т.

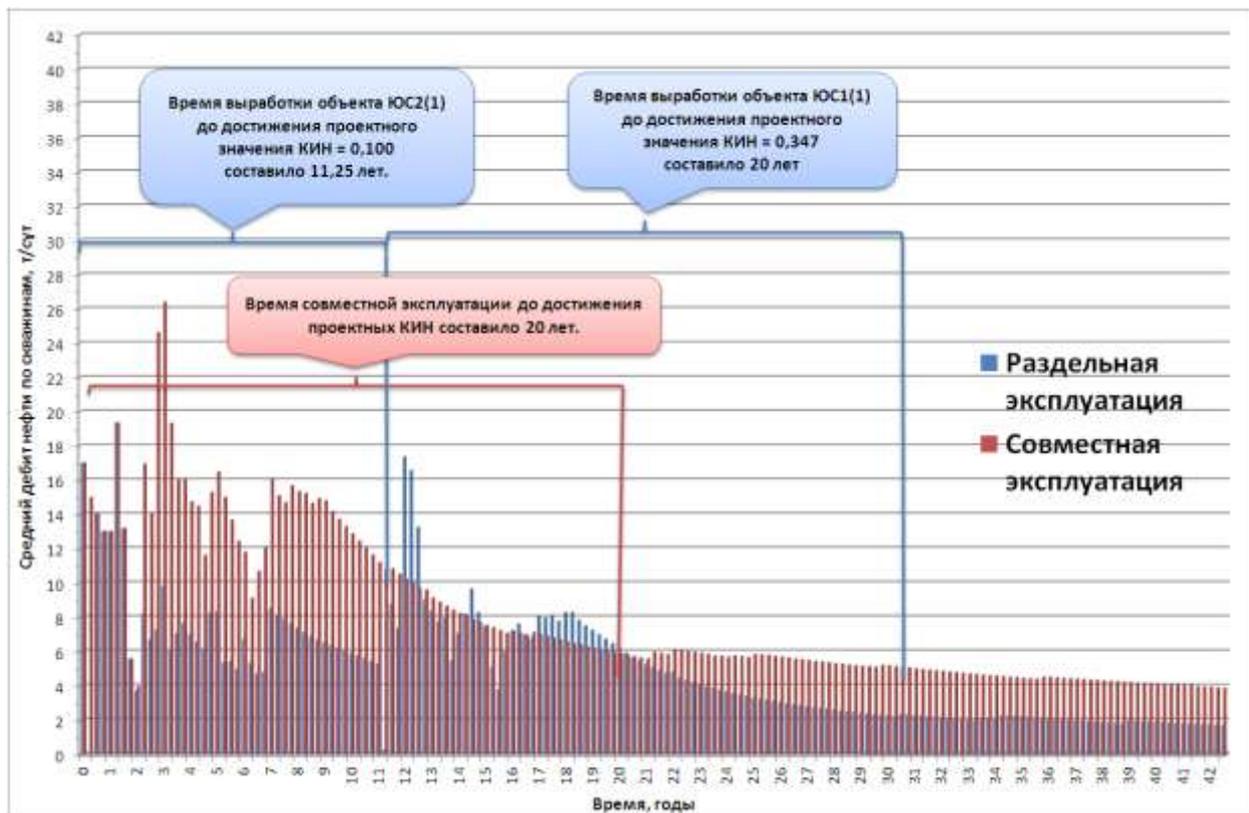


Рисунок 8. Показатели добычи нефти при последовательной и совместной разработке объектов участка Русскинского месторождения.

При реализации второго варианта одновременно вырабатываются оба пласта, время достижения проектных КИН составляет 20 лет с накопленной добычей нефти 588,6 тыс. т. КИН по ЮС2/1 достигается за 11,25 лет, КИН по ЮС1/1 достигается за 20 лет. По пласту ЮС2/1 после достижения КИН скважины продолжают работать и обеспечивать дополнительную добычу нефти.

Таким образом, одновременно-раздельная разработка пластов позволяет: сократить время разработки месторождения на 11,25 лет; увеличить накопленную добычу за 20 лет разработки на 99,3 тыс.т за счет дополнительной добычи нефти и повысить КИН по пласту ЮС2/1 до 0,143.

### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Анализ эффективности системы разработки Русскинского многопластового месторождения выявил нерентабельность ввода в разработку пласта ЮС1/1 самостоятельной сеткой скважин.

2. Разработана методика подбора подземного оборудования ОРД и ОРЗ, определены граничные условия применимости каждого вида компоновок

ОРЭ, а также методы определения параметров работы пластов и отдельного учета продукции.

3. Определена критическая наработка скважин ОРЭ для недопущения аварий в результате промыва элементов компоновки, по достижении которой необходимо проведение ревизии оборудования.

4. Разработана методика определения доли участия отдельных пластов в общем дебите скважины и фильтрационных параметров коллекторов многопластового месторождения, которая позволяет:

- определять удельные дебиты пластов многопластового объекта;
- определять фильтрационные параметры каждого продуктивного пласта многопластового объекта.

Проведена диагностика взаимного влияния пластов при совместной работе пластов одной скважиной.

5. Анализ выбытия скважин из эксплуатационного фонда месторождений Западной Сибири показал, что на поздних стадиях разработки значительная часть скважин ликвидируется. Данный факт не позволяет создать полноценную систему разработки второстепенного пласта и обуславливает дополнительные затраты до 28 % на бурение и проведение дополнительных ГТМ.

6. Обоснована экономическая эффективность применения технологий ОРЭ. Произведен расчет показателей разработки на гидродинамической модели, сравнение классического варианта и варианта с одновременно-раздельной разработкой пластов. При использовании технологий ОРЭ сроки достижения проектных КИН по пластам значительно сокращаются.

7. Предложенные решения опробованы на скважинах Русскинского месторождения ОАО «Сургутнефтегаз», благодаря чему за 3 года дополнительно добыто 19,320 тыс. т.

8. Разработанные научно обоснованные методики обеспечивают контроль фильтрационно-емкостных свойств продуктивных коллекторов, регулирование темпа выработки запасов объектов, что в целом повышает эффективность разработки многопластовых месторождений.

**Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:**

*В изданиях, рекомендованных ВАК РФ*

1. Цику Ю.К. Опыт и перспективы одновременно-раздельной эксплуатации многопластовых месторождений НГДУ «Комсомольскнефть» (статья) / Ю.К. Цику, И.В. Захаров // Нефтяное хозяйство. – 2012. - № 8. – С. 52-54.

2. Афанасьев В.А. Проблемы внедрения технологии одновременно-раздельной эксплуатации на многопластовых месторождениях России (статья) / В.А. Афанасьев, В.А. Захаров, И.В. Захаров, С.Н. Матвеев, Ю.К. Цику // Нефтяное хозяйство. – 2011. - № 7. – С. 94-97.

3. Клюкин С.С. Оценка состояния призабойной зоны скважины на основе комплексных исследований методами термо- и гидродинамики (статья) / С.С. Клюкин, М.А. Ихсанов, Ю.К. Цику // Нефтяное хозяйство. – 2010. - № 11. – С. 94-97.

*В других изданиях:*

4. Лушпеев В.А. Техничко-технологические решения для исследования многопластовых объектов (статья) / В.А. Лушпеев, Ю.К. Цику // Материалы IV международной научно-практической конференции «21 век: фундаментальная наука и технологии». – Т. 2 – North Charleston, USA, 2014 – С. 59-62.

5. Lushpeev V.A. Well-test during synchronous-separate operation (статья) / В.А. Лушпеев, Ю.К. Цику, П.М. Сорокин // Life Science Journal. – 2014. – 11(12s). – P. 351-353.

6. Цику Ю.К. Сургутнефтегаз: конструкции одновременно-раздельной и совместной добычи нефти (статья) / Ю.К. Цику // Нефтегазовая вертикаль. – 2013. - № 20. – С. 62-64.

7. Цику Ю.К. Опыт и перспективы одновременно-раздельной разработки многопластовых месторождений НГДУ «Комсомольскнефть» ОАО «Сургутнефтегаз» (статья) / Ю.К. Цику, И.В. Захаров // Инженерная практика.- М.: ООО «Издательство «Энерджи Пресс». - 2013 - № 2. – С. 38-41.

8. Афанасьев В.А. Стратегия применения технологии одновременно-раздельной эксплуатации скважин на месторождениях ОАО «Сургутнефтегаз»

(статья) / В.А. Афанасьев, И.В. Захаров, С.Н. Матвеев, Ю.К. Цику // «Вопросы геологии, бурения и разработки нефтяных и газовых месторождений Сургутского региона»: Сборник научных трудов СургутНИПИнефть. Вып. 11. - М.: ЗАО «Издательство «Нефтяное хозяйство», 2010. – С. 138-142

9. Федоров В.Н. Совершенствование методики оценки эффективности воздействий на призабойную зону скважины на основе термогидродинамических исследований (тезисы) / В.Н. Федоров, С.С. Клюкин, М.А. Ихсанов, Ю.К. Цику // Тринадцатая научно-практическая конференция «Пути реализации нефтегазового и рудного потенциала Ханты-Мансийского автономного округа – Югры»: в 2 т. – Т. 1. – Ханты-Мансийск: ИздатНаукаСервис, 2010. – С. 387-395.

10. Лушпеев В.А. Определение параметров горизонтальной газовой скважины при проведении исследований по многодатчиковой технологии (тезисы) / В.А. Лушпеев, А.Ш. Ишкильдин, Ю.К. Цику, С.С. Клюкин // Тринадцатая научно-практическая конференция «Пути реализации нефтегазового и рудного потенциала Ханты-Мансийского автономного округа – Югры»: в 2 т. – Т. 1. – Ханты-Мансийск: ИздатНаукаСервис, 2010. – С. 402-407.

11. Патент на полезную модель РФ № 131074 RU, МПК E21B43/14 Оборудование для эксплуатации и исследования многопластовой скважины // Ю.К. Цику, И.В.Захаров. – Оpubл. 10.08.2013

12. Патент на полезную модель РФ № 118681 RU, МПК E21B43/14 Оборудование для одновременно-раздельной эксплуатации двух пластов через одну скважину // В.А. Афанасьев, И.В.Захаров, В.А. Захаров, В.В. Шубин, М.Ф. Паличев, Ю.Г. Саранцев, Ю.К. Цику. – Оpubл. 27.07.2012

13. Патент на полезную модель РФ № 109792 RU, МПК E21B43/14 Оборудование для одновременно-раздельной добычи нефти из двух пластов // В.А. Афанасьев, И.В.Захаров, С.Н. Матвеев, Р.И. Алеев, Ю.К. Цику. – Оpubл. 27.10.2011

**Соискатель**

**Ю.К.Цику**