

## ОТЗЫВ

**официального оппонента на диссертацию Ханнанова Марса Талгатовича на тему: «Повышение эффективности разработки трудноизвлекаемых запасов высоковязких нефтей», представляемой на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.8.4 (25.00.17) – Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений.**

### 1. Актуальность темы

Диссертация М.Т. Ханнанова посвящена решению научно и практически важной проблемы - повышению эффективности разработки мелких месторождений Западного склона Южно-Татарского свода (ЗС ЮТС) с трудноизвлекаемыми запасами высоковязкой нефти путем совершенствования систем разработки, технологий повышения нефтеотдачи, технологических и технических элементов скважинного оборудования, методов и технологий контроля разработки промысловыми, геофизическими, геохимическими, термо- и гидродинамическими методами. Актуальность выбранной темы не вызывает сомнений, поскольку известно, что в настоящее время структура запасов нефти более чем на 60 % представлена трудноизвлекаемыми и доля этих запасов растет. Дополнительным негативным фактором является малые объемы нефтегазовых залежей трудноизвлекаемых запасов, что определяет отсутствие экономически приемлемой стратегии их разработки и невозможность применения известных методов и материалов для повышения коэффициента увеличения нефтеотдачи. Кроме проблемы нефтеизвлечения высоковязкой нефти, основной упор на которые сделан в диссертационном исследовании, из сложнопостроенных нефтяных коллекторов значительные сложности вызывает изучение их гидродинамическими методами. Добывающие скважины на таких месторождениях, как правило, низкодебитные и эксплуатируются, в основном, штанговыми глубинными насосами. Получение информации о фильтрационных параметрах – гидропроводности, подвижности, а также о степени совершенства вскрытия продуктивных пластов – скин-факторе, важном параметре для принятия решения о воздействии на призабойную зону пласта, является сложной технологической и методической задачей. Этому направлению посвящены работы многих исследователей РФ и за рубежом, однако разнообразие свойств коллекторов месторождений определяет необходимость и актуальность дальнейшего развития технологий исследований фильтрационных, энергетических, теплофизических свойств нефтяных коллекторов.

Тема диссертации соответствует пп. 1-5 паспорта специальности 2.8.4 (25.00.17).

Представленная на отзыв диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения, изложена на 361 странице машинописного текста, включая 2 приложения на 35 страницах, содержит 140 рисунков, 56 таблиц, 286 наименования использованных источников.

Автореферат отвечает основному содержанию работы.

## **2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизна**

**Первое научное положение** – «Научно обоснованы и экспериментально подтверждены механизмы, обеспечивающие повышение эффективности разработки месторождений ЗС ЮТС с высоковязкой нефтью в условиях падающей добычи и ухудшения структуры запасов, основанные на адресном уплотнении сетки скважин в комплексе с комбинированными методами увеличения нефтеотдачи и регулирования режимов эксплуатации скважин» – обосновывается материалами 2-4 и 6 глав теста диссертационной работы. Представлены результаты исследований, направленные на локализацию остаточных запасов на поздней стадии разработки месторождений Западного склона Южно-Татарского свода, апробированные известные и разработанные автором методы увеличения нефтеотдачи, влияния плотности сетки скважин, режимов работы скважин на увеличение нефтеотдачи и др. Положение научно значимо для развития теории разработки нефтегазовых месторождений, в частности, теории повышения нефтеизвлечения в условиях анизотропии пластов, направленное на обеспечение равномерного охвата и вытеснения высоковязкой нефти. Положение практически значимо, поскольку предлагаются новые элементы разработки для уплотняющего бурения, а также обоснованные методы воздействия на пласты для условий месторождений ЗС ЮТС.

**Второе научное положение** – «Установлены новые корреляционные зависимости коэффициентов светопоглощения от накопленной добычи нефти для разрабатываемых месторождений с высоковязкой нефтью ЗС ЮТС с величиной достоверности аппроксимации не ниже 0,78, а также корреляционные зависимости коэффициента светопоглощения нефти от коэффициента нефтенасыщенности продуктивного пласта с достоверностью аппроксимации не ниже 0,7, на динамике во времени и в функции накопленной добычи нефти которых разработана методика определения вовлеченных в разработку зон залежи высоковязкой нефти и степени их вовлеченности, обеспечивающая картирование остаточных запасов нефти, не охваченных дренированием», а также вывод 4 диссертации имеют важные научное и практическое значение для развития теории разработки нефтегазовых месторождений, позволяющее повысить информативность процесса разработки сложнопостроенных залежей и планировать бурение адресных уплотняющих скважин и методы воздействия, направленные на вовлечение в разработку не дренируемых запасов.

**Третье научное положение** – «Научно обоснована, экспериментально и экономически подтверждена оптимальная плотность сетки скважин для разработки ТРИЗ высоковязкой нефти месторождений ЗС ЮТС, составившая 1-4 га/скв для карбонатных и 3,9-9 га/скв для терригенных коллекторов», а также вывод 5 обоснованы материалами главы 4 (п. 4.1), в которой на основе анализа исторических промысловых данных опытно-промышленных участков, разрабатываемых по технологии последовательного уплотнения сетки скважин,

научно обоснована, экспериментально и экономически подтверждена оптимальная плотность сетки скважин для разработки трудноизвлекаемых запасов высоковязкой нефти месторождений ЗС ЮТС. Научное положение и вывод 5 имеют важное научное значение для развития теории разработки в части расширения принципиальных схем размещения скважин, включая скважины уплотняющего бурения. Положение и вывод 5 имеют практическое значение, обеспечившие достижение технологического эффекта более 14260 тонн дополнительной добычи нефти для месторождений, находящихся на поздних стадиях разработки.

В главе 4, п. 4.2 приведены результаты исследований и обоснование режимов разработки залежей ЗС ЮТС с высоковязкой нефтью, которые на основании выявленной зависимости пластового давления от зонального распределения кинематической вязкости нефти на месторождениях ЗС ЮТС, имеющей важное практическое значение, позволившая прекратить закачку в 44 законтурные нагнетательные скважины с экономическим эффектом более 49 млн. руб./год.

По результатам исследований, отраженных в материалах главы 4, установлены зависимости фильтрационных параметров от пластового давления, показавшие для условий месторождений ЗС ЮТС снижение коэффициента проницаемости пласта в среднем на 10 %/МПа для терригенных коллекторов, для карбонатных коллекторов в среднем на 15 %/МПа с ростом депрессии на пласт. Полученный вывод имеет важное практическое значение для обоснования допустимой депрессии на продуктивные пласты месторождений ЗС ЮТС.

**Четвертое научное положение** – «Научно обосновано и экспериментально подтверждено, что наибольший эффект и охват пластов воздействием химических и тепловых МУН для условий месторождений высоковязкой нефти Западного склона Южно-Татарского свода достигается при их совместном применении с ДВВ, обеспечивая дополнительный прирост нефтеотдачи от 20 % и более при диапазоне частот ДВВ 0,14 – 0,17 Гц», а также вывод 7 обоснованы материалами 3 главы, в которой научно обосновано и экспериментально подтверждено, что наибольший эффект и охват пластов воздействием химических и тепловых методов увеличения нефтеотдачи для условий месторождений высоковязкой нефти ЗС ЮТС достигается при их совместном применении с дилатационно-волновым воздействием, обеспечивая дополнительный прирост нефтеотдачи от 20 % и более при диапазоне частот дилатационно-волнового воздействия 0,14 – 0,17 Гц.

Разработана авторская установка дилатационно-волнового воздействия для скважин, оснащенных штанговыми глубинными насосами. Положение и вывод 7 имеют важное научное значение для развития теории разработки нефтегазовых месторождений, в частности, повышение эффективности методов воздействия на продуктивные пласты. Разработанная установка и технология дилатационно-волнового воздействия имеют важное практическое значение, что подтверждается промысловыми применениями на 93 возмущающих скважинах, обеспечивая

площадное воздействие на нефтяной пласт. Успешность применения составила 78%. Технологический эффект обеспечил дополнительную добычу более 190 тыс тонн высоковязкой нефти. Экономический эффект превысил 358 млн.руб.

Установлено для месторождений Западного склона Южно-Татарского свода, что наибольший охват пластов воздействием обеспечивается комплексными технологиями (химическими и волновыми, волновыми и тепловыми). Положение имеет важные теоретическое и практическое значения поскольку позволяют учитывать особенности геолого-физических характеристик пластов и залежей с высоковязкой нефтью, эксплуатационные характеристики конкретных скважин и параметры технологических процессов.

Установлено, что для продуктивных пластов на месторождениях ЗС ЮТС наиболее эффективными МУН являются технологии потокоотклонения, кислотных стимуляций, волнового и теплового воздействия. Вывод 6 имеет практическое значение, подтвержденное практическим применением на месторождениях ЗС ЮТС, на которых воздействию подвергалось более 1980 добывающих и нагнетательных скважин. Дополнительная добыча нефти превышает 2900 тыс.тонн. Средний прирост дебита нефти на одну скважину равен 2,26 т/сут.

**Пятое научное положение** – «Разработаны методические основы выделения и изучения газоносных интервалов пермских отложений месторождений Западного склона Южно-Татарского свода с помощью данных геофизических исследований скважин. Разработано программное обеспечение для комплексной интерпретации данных нейтронно-гамма каротажа и гамма-гамма каротажа, позволяющее определять величину газонасыщенности пласта. Выделены перспективные территории для выявления газовых скоплений на разных стратиграфических уровнях пермских отложений, а также выполнена количественная оценка величины ресурсов свободного газа как источника нетрадиционного и дешевого сырья для проведения водогазовых и тепловых методов с целью интенсификации добычи высоковязких нефтей» и выводы 1, 2 имеют важное практическое значение для картирования перспективных газовых скоплений для дешевого источника сырья для водогазового и теплового воздействия на пласты с высоковязкой нефтью, что особенно важно для условий мелких месторождений, минимизируя затраты на соответствующую инфраструктуру. Экономический эффект от применения результатов, отраженных в выводах и положении, по оценке автора достигает 55 млн.руб в год.

**Шестое научное положение** – «Разработаны технология и методика обработки результатов гидродинамических и термогидродинамических методов исследования наклонно-направленных, горизонтальных и многозбойных скважин для контроля продуктивных, энергетических и фильтрационных параметров сложно построенных анизотропных пластов с высоковязкой нефтью, обеспечивающих оценку областей дренирования пласта каждой скважиной, интервалов притока и подвижности пластового флюида, оптимальной депрессии на продуктивные пласты месторождений ЗС ЮТС» и вывод 10 обоснованы

материалами главы 5 диссертации, в которой приведены сведения о разработанных технологии и методики обработки результатов гидродинамических и термогидродинамических методов исследования наклонно-направленных, горизонтальных и многозабойных скважин для контроля продуктивных, энергетических и фильтрационных параметров сложно построенных анизотропных пластов с высоковязкой нефтью, обеспечивающих оценку областей дренирования пласта каждой скважиной, интервалов притока и подвижности пластового флюида, оптимальной депрессии на продуктивные пласты месторождений ЗС ЮТС. Положение и вывод 10 имеют важное научное значение для развития теории гидродинамических исследований скважин со сложной архитектурой хвостовиков (горизонтальные, многозабойные) при нестационарной фильтрации. Положение и вывод практически значимы для получения информации о фильтрационных, энергетических параметрах, а также степени совершенства вскрытия продуктивных пластов скважинами со сложной архитектурой хвостовиков.

**Седьмое научное положение** – «Разработана и апробирована в промысловых условиях методика оценки коэффициента температуропроводности нефтенасыщенных пород в промысловых условиях, обеспечивающего обоснование температуры теплового носителя (пара, горячей воды) при термических методах воздействия на пласты с высоковязкой нефтью месторождений ЗС ЮТС» и вывод 11 обоснованы материалами главы 5 диссертации, в которой представлены: авторская методика исследования теплового поля и температуропроводности горных пород в условиях их естественного залегания; авторская технология проведения термо и гидродинамических исследований в скважинах со сложной архитектурой хвостовиков скважин; авторская методика обработки результатов термо и гидродинамических исследований скважин с горизонтальными и многозабойными хвостовиками при одновременной регистрации температуры и давления в различных точках ствола скважины.

Разработана и апробирована в промысловых условиях методика оценки коэффициента температуропроводности нефтенасыщенных пород в промысловых условиях, обеспечивающего обоснование температуры теплового носителя (пара, горячей воды) при термических методах воздействия на пласты с высоковязкой нефтью месторождений ЗС ЮТС. Положение и вывод 11 являются важным научным результатом для развития теории термодинамики.

Установлены геотермические характеристики основных продуктивных отложений месторождений ЗС ЮТС. Определен коэффициент Джоуля-Томсона для нефти тульских отложений Архангельского и Ямашинского месторождений ЗС ЮТС, равный 0,34 – 0,36 °С/МПа. Положение и вывод также имеют практическую значимость для обеспечения информативности термометрии скважин, а также позволяют оптимизировать температуру теплового носителя при термических методах воздействия для коллекторов месторождений ЗС ЮТС.

Вывод 1 обоснован материалами главы 1 диссертации. Приведена дифференциация пластов с высоковязкой нефтью месторождений Западного склона Южно-Татарского свода. Вывод имеет научное значение для методического обоснования технологий воздействия на продуктивные пласты для увеличения нефтеотдачи. Вывод практически значим для обоснования выбора системы разработки и метода воздействия.

Вывод 3 обоснован материалами 1 и 2 главами диссертации, в которых представлены основные сведения о петрофизических, емкостных, фильтрационных свойствах продуктивных пластов, физико-химических свойствах насыщающих флюидов для месторождений Западного склона Южно-Татарского свода. Результаты показали широкий диапазон изменения свойств пластов, что обусловило необходимость дифференциации свойств по ним. Важным является предложение интегрального показателя – подвижности, что дало возможность дифференциации пластов и залежей по чувствительности к методам воздействия на пласты-коллекторы. Вывод имеет научную значимость для развития теории разработки нефтегазовых месторождений, а также теории и практики МУН.

Вывод 9 обоснован материалами главы 6 диссертации, в которой приведены предложенные авторские схемы размещения скважин с хвостовиками различной архитектуры. Вывод имеет научное значение для развития теории систем разработки нефтегазовых месторождений. Вывод практически значим для выбора и обоснования адресной уплотняющей сетки скважин и конструкции забоев для повышения коэффициента нефтеизвлечения в условиях экономических ограничений.

### **3. Значимость для науки и практики полученных результатов**

Теоретическая значимость диссертационного исследования заключается в научном обосновании и экспериментальном подтверждении механизмов, обеспечивающих повышение эффективности разработки месторождений ЗС ЮТС с высоковязкой нефтью, основанные на адресном уплотнении сетки скважин в комплексе с методами увеличения нефтеотдачи и регулирования режимов работы скважин.

Установлены новые корреляционные зависимости коэффициентов светопоглощения от накопленной добычи нефти для разрабатываемых месторождений с высоковязкой нефтью ЗС ЮТС с величиной достоверности аппроксимации не ниже 0,78, а также корреляционные зависимости коэффициента светопоглощения нефти от коэффициента нефтенасыщенности продуктивного пласта с достоверностью аппроксимации не ниже 0,7, на динамике во времени и в функции накопленной добычи нефти которых разработана методика определения вовлеченных в разработку зон залежи высоковязкой нефти и степени их вовлеченности, обеспечивающая картирование остаточных запасов нефти, не охваченных дренированием.

Научно обоснована, экспериментально и экономически подтверждена оптимальная плотность сетки скважин для разработки ТРИЗ высоковязкой нефти

месторождений ЗС ЮТС, составившая 1-4 га/скв для карбонатных и 3,9-9 га/скв для терригенных коллекторов.

Научно обосновано и экспериментально подтверждено, что наибольший эффект и охват пластов воздействием химических и тепловых МУН для условий месторождений высоковязкой нефти Западного склона Южно-Татарского свода достигается при их совместном применении с ДВВ, обеспечивая дополнительный прирост нефтеотдачи от 20 % и более при диапазоне частот ДВВ 0,14 – 0,17 Гц.

Разработана технология и научно обоснована методика обработки результатов гидродинамических и термогидродинамических методов исследования наклонно-направленных, горизонтальных и многозабойных скважин для контроля продуктивных, энергетических и фильтрационных параметров сложно построенных анизотропных пластов с высоковязкой нефтью, обеспечивающих оценку областей дренирования пласта каждой скважиной, интервалов притока и подвижности пластового флюида, оптимальной депрессии на продуктивные пласты месторождений ЗС ЮТС.

Разработана и научно обоснована методика оценки коэффициента температуропроводности нефтенасыщенных пород в промысловых условиях, обеспечивающего обоснование температуры теплового носителя (пара, горячей воды) при термических методах воздействия на пласты с высоковязкой нефтью месторождений ЗС ЮТС.

Новизна всех разработок автора подтверждены авторскими свидетельствами на изобретения РФ.

Суммарный экономический эффект от внедрения разработок авторы превышает 1,2 млрд.рублей, что подтверждает практическую значимость результатов работ в рамках диссертационного исследования.

#### **4. Рекомендации по использованию результатов диссертационного исследования**

Результаты работы Ханнанова М.Т. рекомендуются к широкому применению на нефтегазовых и газонефтяных месторождениях РФ. В частности, для разработки и эксплуатации месторождений с высоковязкой нефтью рекомендуются разработанные автором технологии увеличения нефтеизвлечения; методы эксплуатации скважин и разработанное скважинное оборудование.

К широкому внедрению для всех категорий скважин и месторождений углеводородов рекомендуются авторская технология проведения исследований скважин с горизонтальными и многозабойными хвостовиками.

Заслуживает развития предложенной автором диссертации рейтинговой системы подбора элементов разработки для различных регионов РФ.

#### **5. Замечания по работе**

1. В пункте 1.1 приведены, не выделенные в отдельные подпункты, сведения о нефтеносности и газоносности. При этом результаты исследования по газоносности вынесены в положения по научной новизне и отражены в выводах по работе. А результаты исследований и анализа по нефтеносности не нашли отражения в основных результатах по работе, хотя при описании указывается, что анализ выполнен на основании проведения большого объема поисково-разведочных работ и промыслово-геофизических исследований. Значит ли это, что автор не имеет отношения к этим исследованиям?
2. В п. 1.2 указано, что усредненные результаты многолетних систематических исследований физико-химических свойств пластовых нефтей приведены в таблице 1.5, но при этом не указывается роль автора в приведенных исследованиях. Выполнял исследования или обобщения?
3. На странице 131 указано, что при числе 6-9 качаний в минуту балансира станка-качалки частота генерируемых гидроакустических импульсов равна 0,1-015 Гц. Не понятен такой широкий диапазон частот генерируемых волн при изменении числа качаний всего на 3.
4. В положении научной новизны и выводе указано, что наибольший эффект от дилатационно-волнового воздействия достигается при диапазоне частот 0,14-0,17 Гц, однако в тексте раздела не приведены расчеты, указывающие на приведенный диапазон, а также условия, при которых определена оптимальная частота 0,167 Гц.
5. Нелинейность индикаторной диаграммы на рисунке 4.5 может быть связано не только с деформационными процессами, происходящими в пласте, но и с недостижением установившихся режимов фильтрации при работе скважины. Из материалов, приведенных в главе, нельзя однозначно сделать вывод о причинах нелинейности.
6. На рисунке 4.7 приведена кривая восстановления давления с ее анаморфозой в полулогарифмической системе координат. Для полноты анализа следовало бы привести и анаморфозу в билогарифмических координатах с анализом производной.
7. В материалах п. 4.3 приведены сведения о теоретических аспектах решения обратной задачи гидродинамики, основанной на методе регуляризации. При этом не указывается авторское участие в этом методе. Почему именно этим методом решается задача? Только в п. 5.3 в тексте упоминается о том, что к этому алгоритму соискатель имеет отношение. Следовало бы более четко обозначить вклад автора в предлагаемый метод решения задачи гидродинамики.
8. В тексте диссертации встречаются ошибки.

## **6. Заключение**

Считаю, что диссертационная работа Ханнанова Марса Талгатовича на тему: «Повышение эффективности разработки трудноизвлекаемых запасов

высоковязких нефтей», является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно обоснованные решения, позволяющие с единых позиций теории фильтрации в сложнопостроенных анизотропных коллекторах, насыщенных высоковязкой нефтью, определять и локализовать запасы на поздней стадии разработки, формировать адаптивные и оптимальные схемы размещения уплотняющего фонда скважин, обосновывать методы увеличения нефтеотдачи, обеспечивать информацией о фильтрационных, энергетических и теплофизических параметрах продуктивных пластов, имеющие научную значимость и существенное практическое значения для развития нефтедобывающей отрасли страны.

Диссертация соответствует критериям, утверждённым Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (п. 9-14) «Положение о порядке присуждения учёных степеней» ВАК Минобрнауки РФ, а ее автор, Ханнанов Марс Талгатович, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.8.4 (25.00.17) – «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений».

Согласен на включение моих персональный данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент,  
Профессор кафедры разработки и  
эксплуатации нефтяных и газовых  
месторождений ФГБОУ ВО  
«Тюменский индустриальный университет»,  
профессор, доктор технических наук  
по специальности 25.00.17 «Разработка и  
эксплуатация нефтяных и газовых  
месторождений»

Сохошко  
Сергей  
Константинович

Электронный адрес: [sohoshkosk@tyuiu.ru](mailto:sohoshkosk@tyuiu.ru)

Адрес организации: 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, д.38, Тюменский индустриальный университет.

«04» 05 \_\_\_\_\_ 2022г.

