

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ КОМИССИИ**

диссертационного совета 24.1.100.01

при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки

Институт проблем нефти и газа Российской академии наук (ИПНГ РАН)

о диссертационной работе Ушаковой Александры Сергеевны,

выполненной на тему: «**Научно-методические основы и условия применения закачки воздуха в пласт для освоения трудноизвлекаемых запасов**»,

представленной на соискание ученой степени

доктора технических наук по специальности

**2.8.4 – Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений**

Экспертная комиссия ознакомилась с диссертационным исследованием Ушаковой Александры Сергеевны, посвященным всестороннему изучению проблемы воспламенения нефти в пласте при закачке воздуха в залежи с трудноизвлекаемыми запасами, и пришла к следующим выводам:

**Ценность научно-методических разработок** соискателя состоит в следующем. Впервые выполнен анализ проектов закачки воздуха на предмет соответствия геолого-физических и термогеохимических условий месторождений и результатов воспламенения нефти в пласте (самопроизвольного и вынужденного). Показано, что успешные проекты длительной закачки воздуха можно разделить на технологии внутрипластового горения – для тяжелой нефти, и термогазового воздействия - для легкой нефти. Какая из технологий будет реализована при закачке воздуха, зависит от термогеохимических условий месторождения, а ее успешность и безопасность – от времени воспламенения нефти в пласте. Всесторонне изучен процесс самовоспламенения нефти с помощью математического моделирования, экспериментального исследования окисления нефти с помощью термоаналитического оборудования и путем построения теоретической модели химических реакций окисления нефти в рамках подходов цепного воспламенения углеводородов в жидкой фазе. Разработаны методика экспериментального определения времени воспламенения нефти с помощью кинетических исследований и адаптации результатов к параметрам месторождений, методика определения параметра Франка-Каменецкого для воспламенения нефти в пласте в зависимости от термогеохимических условий месторождения (термобарических условий пласта, группового состава нефти, нефте- и водонасыщенности, наличия сорбированной нефти, а также геометрии порового пространства).

Результаты работы представляют **научную ценность**, связанную с созданием подходов к исследованию и описанию воспламенения нефти в пласте, и **практическую значимость**, выразившуюся в создании научно-методических решений для оценки потенциала метода закачки воздуха для трудноизвлекаемых запасов нефти

низкопроницаемых, обводненных и нефтематеринских пород. **При участии и под руководством соискателя** разработаны методики экспериментального определения активности нефти, ее фракций и синтетических углеводородов и растительных масел к окислению, методики определения времени воспламенения нефти в пласте и влияния породы на процесс окисления. Результаты работы апробированы на двух объектах опытно-промышленных работ по закачке воздуха. Проведен анализ ранних стадий проектов с определением параметра Франка-Каменецкого и времени воспламенения нефти. Показана высокая степень корреляции промысловых результатов с расчетными данными. Предложены метод ускорения воспламенения нефти путем закачки в пласт реакционно-активных растительных масел, технология их нагрева на поверхности и в стволе скважины для создания условий развития цепных реакций в призабойной зоне нагнетательных скважин, ускорения воспламенения нефти и, таким образом, расширения области применения технологии закачки воздуха для извлечения нетрадиционных запасов углеводородов.

**Личный вклад автора** состоит в следующем. В результате проведенного комплекса исследований процесс воспламенения нефти изучен экспериментально и теоретически, сопоставлен с показателями эффективности и безопасности технологии закачки воздуха. Разработаны термогеохимические критерии применимости технологии, в том числе для нетрадиционных запасов углеводородов, апробированы автором на двух объектах закачки воздуха. Показаны риски невоспламенения нефти в низкопроницаемых коллекторах, последствия такого течения процесса закачки воздуха и предложены методы принудительного воспламенения для глубокозалегающих низкопроницаемых коллекторов.

**Высокая степень достоверности** полученных результатов исследования определяется опорой на анализ мирового опыта успешных и неуспешных проектов закачки воздуха, предшествующие научно-методические разработки российских и зарубежных ученых. **О высокой степени достоверности** свидетельствует широкий спектр использованных автором экспериментальных методов, методов аналитического и численного моделирования, методов исследования химической кинетики окисления углеводородов, подходов цепного и теплового воспламенения, анализа промысловых результатов закачки воздуха на объектах трудноизвлекаемых запасов углеводородов.

Ряд научных положений **сформулирован и обоснован впервые**. Разработана новая научная концепция описания процесса воспламенения нефти в пласте. Получены экспериментальные данные о характере начальных стадий окисления нефти, которые

интерпретированы и описаны теоретически с использованием, впервые для сырой нефти, закономерностей цепного окисления углеводородов в жидкой фазе. **Впервые установлено**, что процесс самовоспламенения нефти является суперпозицией нагрева жидких углеводородов и процесса формирования топлива, в результате чего активность нефти к самовоспламенению определяется содержанием в нефти предельных углеводородов. Автором **впервые** с использованием методов дифференциальной сканирующей калориметрии выявлены термогеохимические факторы, определяющие активность начальных стадий окисления горючих веществ, в том числе, нефти, нефтяных парафинов и растительных масел. Определен механизм каталитического влияния породы, начальной нефте- и водонасыщенности на процесс окисления. Описано окисление нефти в пластовых условиях с применением подходов цепного и теплового воспламенения. **Впервые** определены и ранжированы термогеохимические критерии эффективности процесса окисления нефти в пластовых условиях, определяющие возможность реализации технологий внутрипластового горения и термогазового воздействия. Автором **создана** химико-математическая модель радикально-цепного воспламенения нефти в пласте. Показано, что в рамках данного подхода возможно описание катализа и ингибирования в процессе горения, а также оценка времени воспламенения нефти в пластовых условиях. **Впервые** исследована кинетика окисления веществ, инициирующих воспламенение нефти в пластовых условиях в непосредственной близости от призабойной зоны пласта. Исследована технология прогрева призабойной зоны до рассчитанной температуры создания очага горения.

**Диссертация соответствует паспорту научной специальности 2.8.4 – «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» (п. 2, 3 и 9 направлений исследований:** 2. Геолого-физические, геомеханические, физико-химические, тепломассообменные и биохимические процессы, протекающие в естественных и искусственных пластовых резервуарах и окружающей геологической среде при извлечении из недр и подземном хранении жидких и газообразных углеводородов и водорода известными и создаваемыми вновь технологиями и техническими средствами для развития научных основ создания эффективных систем разработки, обустройства и эксплуатации месторождений и подземных хранилищ жидких и газообразных углеводородов и водорода, захоронения кислых газов, включая диоксид углерода; 3. Научные основы технологии воздействия на межскважинное и околоскважинное пространство и управление притоком пластовых флюидов к скважинам различных конструкций с целью повышения степени извлечения из недр и интенсификации добычи жидких и газообразных углеводородов; 9. Научные основы создания цифровых двойников

технологических процессов, используемых в компьютерных технологиях интегрированного проектирования и системного мульти-дисциплинарного мониторинга эволюции природно-техногенных систем, создаваемых для эффективного извлечения из недр или хранения в недрах жидких и газообразных углеводородов и водорода путем управления ими с использование методов и средств информационных технологий, включая методы оптимизации и геолого-гидродинамическое моделирования).

Комиссией изучены работы, опубликованные автором по теме докторской диссертации. Всего опубликовано 29 работ, среди них 18 статей опубликовано в изданиях, входящих в международные базы данных (Scopus, Web of Science). Автором получено три патента РФ по теме докторской диссертации и свидетельство о регистрации разработанной программы для ЭВМ.

Основные научные результаты докторской диссертации опубликованы в изданиях, входящих в перечень ВАК и международные базы данных – 23 статьи, что превышает их минимально допустимое количество. Оценивая полноту изложения материалов, опубликованных автором по теме докторской диссертации, комиссия отмечает, что в работах соискателя **полностью отражено основное содержание докторской диссертации**.

В докторской диссертации соблюдаются требования, установленные пунктом 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842. Текст докторской диссертации проверен комиссией на заимствования с использованием средств проверки ИПНГ РАН. Для проверки использовалось программное обеспечение «Программная система для поддержки экспертной деятельности по выявлению текстовых заимствований «Антиплагиат. Эксперт» версии 3.3» (Программное обеспечение «Антиплагиат. Эксперт»). В результате проверки текста, ссылок на источники и экспертного анализа результатов автоматизированной проверки установлено, что оригинальный текст автора составляет 96,5%, включая самоцитирование 28%. Отдельные фрагменты текста, выделенные как «самоцитирование», представляют собой значительно переработанный текст ранее опубликованных докторантами статей, приведенный со ссылками на источники и в строгом соответствии с долей участия в них автора. Текст, помеченный как совпадения, составляет 3,5% и представляет собой отдельные общепринятые фразы, стандартные фразы из описания изучаемых автором объектов, расшифровку обозначений в формулах и т.п. В нем не содержатся фрагменты, имеющие отношение к обосновываемым положениям и результатам докторской диссертации.

На основании рассмотренных материалов комиссия установила, что докторская диссертация Ушаковой А.С. соответствует **требованиям, предъявляемым к докторским**

диссертациям. Тема и содержание диссертации А.С. Ушаковой соответствуют специальности 2.8.4 «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» и отрасли науки (технические). Диссертационный совет 24.1.100.01 может принять работу к защите.

**Председатель комиссии:**

Доктор технических наук

Э.С. Закиров

**Члены комиссии:**

Доктор технических наук

И.М. Индрупский

Доктор технических наук

С.Н. Попов