

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента на диссертационную работу Белозерова Ивана Павловича на тему «Разработка технологии цифрового моделирования керна для определения фильтрационно-емкостных свойств терригенных коллекторов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.4. Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений

### **1. Актуальность темы диссертации**

Технология цифрового моделирования керна является востребованным и развивающимся направлением, позволяющим решать целый ряд задач, связанных с исследованиями кернового материала. Данная технология получает всё большее распространение в силу развития компьютерных технологий. Актуальность развития технологии цифрового моделирования керна, прежде всего, определяется тем, что у специалистов не всегда имеется достаточное количество образцов керна для проведения исследований.

Совершенствование технологии цифрового керна позволит в той или иной степени решить проблему нехватки или отсутствия кернового материала. Кроме того, актуальным представляется создание блока цифрового керна, вписывающего в общую платформу цифровизации технологий, связанных с исследованием фильтрационных и емкостных свойств при разработке месторождений углеводородов.

Технология цифрового моделирования керна используется в операциях по контролю за разработкой нефтяных месторождений в качестве инструмента изучения динамического состояния залежей и процессов, протекающих при их разработке.

### **2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций**

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

подтверждается корректностью математической модели, базирующейся на методах стохастической упаковки и молекулярной динамики, положенной в основу технологии определения фильтрационно-емкостных свойств терригенных коллекторов с применением цифровой модели ядра, ее адекватностью, применением стандартизированных методов моделирования, сходимостью полученных результатов с данными значительного объема результатов литолого-петрографических и фильтрационных исследований терригенных пород-коллекторов нефти.

Результаты диссертационного исследования докладывались и обсуждались автором на конференциях различного уровня, опубликованы в ведущих рецензируемых журналах, а также нашли практическое применение – Акты внедрения результатов диссертационного исследования в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова».

### **3. Достоверность и новизна исследования, полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Научная новизна выполненной работы состоит в обосновании применения методов стохастической упаковки для математического моделирования структуры порового пространства цифровой модели ядра терригенных пород-коллекторов нефти. Также в разработке междисциплинарного подхода для реализации процессов создания и функционирования технологии определения фильтрационно-емкостных свойств терригенных коллекторов методами математического моделирования, основанного на объединении нескольких программных продуктов в единый программно-аппаратный комплекс, в котором полученные результаты цифрового моделирования сопоставляются с результатами лабораторных исследований образцов ядрового материала.

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

Теоретическая значимость работы заключается в научном обосновании применения результатов исследований кернового материала эталонного коллектора, представленного терригенным песчаником Berea Sandstone, кернового материала и петрографических шлифов продуктивных пластов месторождений Тимано-Печорской провинции и геофизических исследований скважин при создании цифровой модели керна, а также установлении и обосновании этапов моделирования порового пространства цифровой модели керна, необходимых для успешной имитации фильтрационных процессов в пористой среде пласта.

Результаты выполненных автором исследований использованы в научном проекте РФФИ № 16-29-15116 офи\_м «Разработка математического и программного обеспечения на основе методов молекулярной динамики для виртуального моделирования керна на Супер ЭВМ с целью прогнозирования основных параметров фильтрационно-емкостных свойств терригенных коллекторов нефти и газа».

Практическая значимость работы заключается в разработке технологии цифрового моделирования керна, заключающаяся в использовании данных с применением методов стохастической упаковки и молекулярной динамики при математическом моделировании с целью определения фильтрационно-емкостных характеристик пласта.

Проведенные исследования по оценке литолого-петрографических и фильтрационно-емкостных характеристик терригенного коллектора, а также анализ результатов геофизических исследований скважин позволяют расширить возможности цифрового моделирования керна и прогнозировать фильтрационно-емкостные характеристики пласта методами математического моделирования.

Использование результатов исследований фильтрационно-емкостных свойств терригенных коллекторов с применением цифровой модели керна позволило повысить эффективность прогнозирования фильтрационно-

емкостных характеристик пород-коллекторов нефти в ИТЦ АНГЛИ САФУ при выполнении хоздоговорных работ по заказам нефтегазовых предприятий, а также качественный уровень практической подготовки студентов, обучающихся по направлению 21.03.01 «Нефтегазовое дело» в САФУ. Значимость полученных автором результатов для практики подтверждают два акта о внедрении результатов научных исследований. в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова».

#### **5. Оценка содержания диссертации, степени ее завершенности и качества оформления**

Диссертационная работа Белозерова И.П. изложена на 116 страницах машинописного текста, состоит из введения, четырех глав, выводов и списка литературы, включает 7 таблиц, 19 рисунков и 2 приложения. Библиографический список включает 144 наименования, в том числе 59 иностранных.

По теме диссертации автором опубликовано 16 научных работ, в том числе 3 статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ.

Содержание автореферата соответствует основным положениям и выводам диссертации и опубликованным работам. Результаты и выводы диссертационной работы, исходя из актуальности решаемой проблемы, полностью отвечают поставленной цели и задачам научного исследования.

#### **6. Замечания к диссертационной работе**

- 1) На рисунке 5 в автореферате и рисунках 3.3. и 3.8 в диссертации показаны зависимости снижения проницаемости по керосину с увеличением температуры. Физические причины этого явления в работе не раскрыты.

- 2) В работе приводится большое количество зависимостей, однако не понятно, какими статистическими критериями и для какого уровня значимости автор оценивал достоверность полученных зависимостей.
- 3) В автореферате приводится расчетная зависимость (4) с логарифмом проницаемости, которую автор использует для получения зависимости (5) но уже без логарифма проницаемости. Зависимость (5) приводится также на рисунке 6. В работе не поясняется, для чего был нужен в зависимости (4) логарифм проницаемости и почему он не используется в зависимости (5) и на рисунке 6.
- 4) Из представленной работы не ясно, как и какими критериями автор оценивает достаточность объема лабораторных исследований для построений цифровых моделей керна.
- 5) В главе 3 на рисунке 3.10 и 3.11 зависимости оцениваются автором как схожие. Исходя из такой оценки, автором производится переход от параметра  $u/v$  к перепаду давления при определении абсолютной газопроницаемости цифровой модели керна. При этом, зависимость на рисунке 3.10 имеет коэффициент детерминации 0,1376, а зависимость на рисунке 3.1 – коэффициент детерминации 0,5991. Из работы не ясно, какой критерий схожести использует автор при таких различиях коэффициентов детерминации двух зависимостей.
- 6) В главе 4 до конца не раскрывается, как связи керн-гис должны использовать при создании цифровой модели керна.
- 7) На сегодняшний день получено много новых результатов по направлению цифрового керна. На международных конференциях 2021 года компания Schlumberger демонстрирует программное обеспечение для цифрового керна и примеры его практического использования. Из работы не совсем ясно, как исследования автора соотносятся или учитывают последние зарубежные наработки в области цифрового керна.

## 7. Заключение

Несмотря на замечания, считаю, что диссертационная работа Белозерова Ивана Павловича на тему «Разработка технологии цифрового моделирования керна для определения фильтрационно-емкостных свойств терригенных коллекторов» является завершённой научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная проблема разработки технологии цифрового моделирования керна для определения фильтрационно-емкостных свойств терригенных коллекторов.

Диссертационная работа соответствует критериям пп. 9 – 14 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК Министерства науки и высшего образования РФ, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, Постановлением Правительства РФ от 21 апреля 2016 г. № 335, а её автор – Белозеров Иван Павлович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.4. Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений.

*Я, Путилов Иван Сергеевич, даю своё согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.*

### Официальный оппонент

доктор технических наук (по специальности 25.00.12 – Геология, поиски и разведка нефтяных и газовых месторождений), доцент, заместитель директора Филиала по научной работе в области геологии, Филиала ООО "ЛУКОЙЛ-Инжиниринг" "ПермНИПИнефть"



Путилов Иван Сергеевич  
« 02 » 2022 г.

Контактные данные: 614015, г. Пермь, ул. Пермская, д. 3а  
Телефон: 89129845140  
E-mail: Ivan.Putilov@pnn.lukoil.com

Подпись Путилова Ивана Сергеевича заверяю:

*Берущий ответственность по работе*



*Мухомин С.А. Мухомин*