

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу **НОВИКОВА** Константина Александровича «Математические модели процессов переноса в сложных средах и принципы максимума для них», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

Диссертационная работа К.А. Новикова посвящена важному направлению в современной науке – математическому моделированию процессов переноса в сложных неоднородных средах: в клетках и пористых нефтяных пластах. Сложность моделирования в первом случае связана с анизотропией среды и ее пористостью, а во втором случае с асимметричной организацией белковых комплексов, по которым осуществляется перенос. Это междисциплинарная работа, требующая для своей реализации помимо методов математического моделирования использования также подходов и методов биологии, химии и физики. **Актуальность** диссертационной работы К.А. Новикова не вызывает сомнений.

Диссертационная работа К.А. Новикова включает введение, четыре главы, заключение и список литературы. Диссертация написана хорошим языком, текст читается достаточно легко. Объем работы составляет 115 страниц, включая 20 рисунков и 12 таблиц. Список литературы содержит 81 наименование.

Первая глава работы носит обзорный характер и посвящена описанию исследуемых задач и обзору научной литературы по теме диссертации.

Вторая глава посвящена моделям многофазной фильтрации, описывающим движение различных фаз (жидких и газообразных) в пористой среде нефтяного пласта. Раздел начинается с формулировки и доказательства аналитических результатов для постановки моделей в виде дифференциальных уравнений в частных производных: получен принцип максимума для переменных фазовых давлений, глобального давления и фазовых насыщенныхностей в модели двухфазной фильтрации, а также фазовых давлений и глобального давления в модели трехфазной фильтрации. С

использованием схемы конечных объемов, основанной на нелинейной многоточечной схеме аппроксимации потока, сформулирована численная модель двухфазной фильтрации. Доказано, что численное решение для переменной давления, получаемое с использованием данной схемы, удовлетворяет дискретному принципу максимума. Выводы, полученные аналитически, подтверждаются результатами численных экспериментов. Проводится численный анализ выполнения дискретного принципа максимума для различных значений параметров моделей двух- и трехфазной фильтрации.

Третья глава посвящена моделированию переноса веществ в живой клетке. Предложенная в данной главе модель описывает одновременно протекающие связанные процессы формирования сети микротрубочек и переноса веществ по ним. На основе модели исследуются различные аспекты жизнедеятельности клетки. Сначала исследуется вопрос энергетической эффективности сети микротрубочек. Показано, что более эффективные сети требуют больших затрат энергии и формируются дольше. Далее с использованием геометрически правдоподобного описания микротрубочек для коротких промежутков наблюдения продемонстрирован наблюдаемый феномен падения скорости переноса веществ с увеличением времени измерения.

В **четвертой главе** описаны алгоритмы, используемые для реализации предложенных в работе численных моделей в виде программных комплексов.

Выводы хорошо сформулированы и в полной мере соответствуют задачам диссертационной работы.

Новизна полученных результатов и их научная ценность заключаются в том, что впервые получены принципы максимума для моделей многофазной фильтрации и предложены модели внутриклеточного переноса, описывающие взаимосвязанные процессы переноса веществ и формирования сети микротрубочек. **Практическая значимость** состоит в реализации предложенных численных моделей в виде программных комплексов, которые могут быть использованы для интерпретации экспериментальных

данных по движению лекарственных препаратов и вирусов в клетке и моделирования процессов нефтедобычи.

Обоснованность результатов, выдвинутых соискателем, основывается на согласованности научных выводов и данных эксперимента. Их **достоверность** обеспечивается применением надежных аналитических методов, а также методов численного моделирования и сравнением с ранее рассмотренными моделями.

Основные результаты диссертации опубликованы в восьми печатных работах, включая четыре статьи из списка ВАК, они неоднократно обсуждались на различных конференциях и семинарах.

К работе есть следующие **замечания**:

1. Во второй главе формулируется принцип максимума для переменных насыщенных в модели двухфазной фильтрации, однако существование дискретного принципа максимума для них далее не обсуждается.
2. Все результаты второй главы сформулированы для тонких резервуаров в предположении отсутствия гравитации. Представляется целесообразным рассмотреть также случай ненулевой гравитации и оценить, насколько оправдано сделанное предположение.
3. Результат принципа максимума для фазовых насыщенных можно было сформулировать для более широкого класса систем связанных нелинейных уравнений в частных производных, а не ограничивать его только моделью двухфазной фильтрации.
4. Описанный в третьей главе подход к оценке эффективности транспортной сети в перспективе может быть использован для решения оптимизационной задачи, однако для этого необходимо расширить круг рассматриваемых процессов.
5. В третьей главе сначала рассматривается модель динамики микротрубочек, а затем статическая модель сети микротрубочек с более сложной геометрией. Следовало бы изучить, как соотносятся между собой характеристики сетей, получаемых в результате использования этих двух моделей.

Сделанные замечания не являются принципиальными и не снижают положительной в целом оценки работы.

Заключение

Диссертация работа К. А. Новикова является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным автором самостоятельно на высоком научном уровне. В работе приведены научные результаты, позволяющие квалифицировать их как существенный шаг в построении, исследовании и реализации в виде программных комплексов моделей процессов переноса в нефтяном пласте и клетке. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Работа соответствует всем требованиям ВАК РФ, включая п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Новиков Константин Александрович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Официальный оппонент

Доктор физ.-мат. наук

главный научный сотрудник

лаборатории нелинейной динамики и теоретической биофизики

ФГБУН Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН

Адрес: 119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д.53

Тел. (499)132-69-77

E-mail: apol@lpi.ru

Полежаев Андрей Александрович

16.05. 2017

Подпись Полежаева А.А. заверяю:

Учёный секретарь ФИАН

канд. физ.-мат. наук



Колобов Андрей Владимирович