

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
Федерального государственного
бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Воронежский государственный
технический университет»



Коновалов Д.А.

2020 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования «Воронежский
государственный технический университет»

о диссертации Фахад Дульфикар Али на тему "О компьютерной реализации некоторых задач фильтрации без начальных условий в пористой среде", представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Диссертация посвящена изучению и приложениям математических моделей, описывающих диффузионные процессы, связанные с исследованием экологических проблем, в число которых входит геологические и физические задачи, где объектами исследования являются процессы движения грунтовых вод, газа, нефти в нефтяносных слоях, радиоактивных и технических отходов, происходящих в подземных хранилищах. В диссертации в качестве объекта исследования выбрана интересная, но мало известная математическая модель С.В. Голубева, описывающая процессы нестационарной фильтрации сжимаемой жидкости в пористой среде с наличием проточных и застойных зон, где обращается внимание на то, что существует структура потока, зависящая от расхода жидкости, которая при малом расходе носит ламинарный характер, а с увеличением расхода приобретает двойственный характер. В то время как в ядре потока (проточной зоне) жидкость движется от входа к выходу по прямолинейным траекториям, на периферии потока (в застойной зоне) она вовлекается в вихревое движение.

Такой специфический режим характерен для течения жидкости в пористой среде.

В соответствии с этим С.В. Голубевым предлагается интегро-дифференциальное уравнение

$$a \frac{\partial^2 p(t, x)}{\partial x^2} = \nu \frac{\partial p(t, x)}{\partial t} + (1 - \nu) \gamma p(t, x) - \\ - (1 - \nu) \gamma^2 \int_0^t e^{\gamma(s-t)} p(s, x) ds = L_t p(t, x),$$

коэффициенты которого зависят от доли объема проточных зон — ν , константы массы обмена между проточными застойными зонами — γ и коэффициентом пьезопроводимости — a . Некоторые задачи для такого уравнения рассматривались Ю.И. Бабенко, в которых определяется градиент давления у границы области $x = 0$.

В настоящей диссертации были продолжены исследования таких уравнений в новых постановках. Здесь эти уравнения были рассмотрены в том случае, когда время изменяется на всей числовой оси, т.е. в постановке вопроса о свойствах явлений, которые не зависят от начальных условий или не зависят от деталей начальных условий, но вместе с тем система еще далека от состояния равновесия. Поэтому, следуя Я.Б. Зельдовичу и Г.И. Баренблатту, здесь они носят название "промежуточная асимптотика". Такие асимптотики являются решениями вырожденных задач, в которых параметры независимых переменных обращаются в нуль или бесконечность. Однако, для того чтобы решение вырожденной задачи представляло собой промежуточную асимптотику необходимо, чтобы оно было устойчиво относительно изменений малых возмущений, то есть вырожденная задача должна быть корректной. В диссертации, именно с этой точки зрения, были исследованы и решены задачи без начальных условий, для уравнений, описывающих процессы субдиффузии, диффузии и фильтрации в пористых средах и приводятся алгоритмы их приближенных решений. В частности, сюда относятся модели субдиффузии и процессы фильтрации в пористой среде с проточными и застойными зонами.

Диссертация объемом 124 страницы состоит из введения и трех глав, разбитых на 23 параграфа, заключения и список литературы из 59 наименований. Работа содержит 4 рисунка и свидетельство о регистрации программ для ЭВМ № 2017661210. Во введении сформулированы цели и задачи, аргументирована научная новизна исследований, показана практическая значимость результатов, представлены научные положения, выносимые на защиту. Первая глава содержит необходимые терминологию, понятия и общие фундаментальные факты, связанные с теорией корректных и некорректных задач для эволюционных уравнений. Подчеркивается важность корректной разрешимости при их численной реализации, позволяющей установить устойчивую стабилизацию сходимости приближенных решений к точному решению, что в настоящее время становится все более актуальным в условиях быстродействующей компьютерной реализации. Во второй главе рассматриваются математические модели процессов фильтрации без

начальных условий и их корректная разрешимость. Изучаются фильтрационные волны. В третьей главе численными методами решаются прямая и обратная задачи для уравнения фильтрации в среде с застойными и проточными зонами для периодического граничного условия. Производится оценка скорости затухания фильтрационного потока, с применением численных методов дифференциальных уравнений, в зависимости от проточных зон и коэффициента массопереноса. Вводятся интерполяционные многочлены Ньютона–Тейлора с целью численной реализации алгоритмов решения уравнений, описывающих течение вязкой сжимаемой жидкости в пористой среде, которые сочетают в себе различные интерполяционные методы.

На основе разработанного нового алгоритма реализован программный продукт в среде Delphi, который получил государственное свидетельство.

В качестве пожелания можно было бы продолжить исследования в следующем направлении: поскольку в диссертации вычисление параметров ν и γ проводится при фиксированном $a = 1$, то это позволяет получить решение в результате одного измерения в эксперименте. Интересно рассмотреть эту задачу и для случая, когда a также является свободным параметром. Так как известно, что для определения этого параметра одного измерения недостаточно уже при $\nu = 0$.

К числу замечаний отнесем употребление некоторых понятий из общей теории дифференциальных уравнений в банаховых пространствах, которые не используются в диссертации. В частности, это относится к некоторым фактам, связанным с определениями сильно непрерывной полугруппы и ее производящего оператора. Это касается также и определения сильно непрерывной группы преобразований и ее свойств. Кроме того, работа не лишена опечаток и орфографических ошибок, количество которых не превышает допустимой нормы. Впрочем, эти замечания не умаляют значимость полученных в диссертации результатов и могут рассматриваться как пожелания дальнейших исследований. Все полученные в диссертации результаты являются новыми, строго доказаны и грамотно изложены.

В диссертации получены следующие самостоятельные результаты, как теоретического, так и прикладного характера:

1. Модификация модели В.С. Голубева движения жидкости в пористой среде с застойными зонами на случай процесса бесконечного во времени.

2. Установление корректной разрешимости задачи фильтрации без начальных условий в полуограниченном интервале времени.

3. Решение прямой и обратной задачи численными методами для уравнения фильтрации в среде с застойными и проточными зонами для периодического граничного условия.

4. Оценка скорости затухания фильтрационного потока, с применением численных методов дифференциальных уравнений, в

зависимости от доли проточных зон и коэффициента массопереноса.

5. Разработка объектно-ориентированной программы для реализации предлагаемых алгоритмов и их численной реализации.

Материалы диссертации докладывались на Воронежской зимней математической школе в 2018 г., на Воронежской математической школе "Понтрягинские чтения" в 2017, 2018, 2019 гг., а также на семинарах ВГУ по математическому моделированию (рук. проф. В.А. Костин) и нелинейному анализу (рук. проф. Ю.И. Сапронов, проф. Б.М. Даринский). Работа имеет теоретический характер. Результаты работы могут быть использованы в Российском университете дружбы народов, Воронежском государственном университете, Воронежском государственном техническом университете, Военном учебно-научном центре военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» и других научных организациях.

На основании изложенного считаем, что диссертация Фахад Дульфикар Али удовлетворяет требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Отзыв обсужден и утвержден на заседании кафедры нефтегазового оборудования и транспортировки ВГТУ (протокол № 7 от 3.12.2020).

Заведующий кафедрой
нефтегазового оборудования
и транспортировки, д.т.н., профессор

С.Г. Валухов

Профессор кафедры
нефтегазового оборудования
и транспортировки, д.т.н., профессор

А.В. Кретинин

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»). Почтовый адрес: ул. 20 лет Октября, 84, Воронеж, 394006. Телефон: +7(473)252-34-52; электронная почта: info@turbonasos.ru (Валухов С.Г.); avk-vrn@mail.ru (Кретинин А.В.)

*Подписи профессора С.Г. Валухова и
профессора А.В. Кретинина завершено
Ученым секретариатом ученого совета
ВГТУ*



В.И. Трушин