

ОТЗЫВ

официального оппонента Вирченко Юрия Петровича
на диссертацию Фахад Дульфикар Али
«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.

В диссертации исследуется математическая модель В.С. Голубева, описывающая движение жидкости в пористой среде, отличающаяся от ранее изучаемых аналогичных моделей тем, что при ее описании вводятся новые понятия, характеризующие фильтруемый поток жидкости. Например, в известной теории Я.Бэра, Д.Заславского, М.Ирмей предполагается, что движение жидкости в пористой среде исключает образование на границе раздела двух фильтрующихся жидкостей т.н. зоны смешения.

Напротив, согласно теории В.С. Голубева, при фильтрации индивидуальной жидкости происходит движение частиц, аналогичное тем, которые обуславливают формирование зон смеси двух жидкостей. Например, экспериментальное изучение движения жидкости в камерах с узкими входом и выходом показывает качественное характера движения. Если при малых расходах оно таково, что в камере имеет место ламинарное течение, то с увеличением расхода в проточной зоне течение приобретает турбулентный характер. Согласно В.С.Голубеву, соответствующая математическая модель представляется уравнением

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

коэффициенты которого зависят от доли объема проточных зон — ν , константы массы обмена между проточными застойными зонами — γ и коэффициентом пьезопроводимости — a .

В случае отсутствия застойных зон ($\nu = 1$) это уравнение является классическим уравнением диффузии. В общем случае уравнение Голубева рассматривалось Ю.И. Бабенко с нестационарным условием $p(t, 0) = q(t)$ с целью нахождения градиента давления $(\partial p(t, x) / \partial x)_{x=0}$ на границе области

$x = 0$. В его работе ответ дается в виде некоторого формального операторного ряда с неограниченным оператором, сходимость которого не исследовалась. Тем самым, не обсуждался вопрос о корректной разрешимости рассматриваемой нестационарной задачи и, как следствие, устойчивости численного решения к погрешностям исходных данных.

В настоящей диссертации, используя методы функционального анализа, исследуется корректная разрешимость нестационарной задачи для математической модели Голубева, описывающей процесс фильтрации жидкости в пористой среде с проточными и застойными зонами. При этом впервые, насколько мне известно, эти уравнения изучаются в случае, когда время изменяется на всей числовой оси. На важность таких задач указывал классик теории фильтрации Г.И. Баренбатт.

В диссертации ставится и решается проблема нахождения явного вида решений нестационарной задачи для уравнения Голубева. Эти решения позволяют судить как о характере их зависимости от основных, в рамках модели Голубева, характеристик фильтруемых потоков жидкости: коэффициента ν , характеризующего долю жидкости в проточных зонах и показателя γ массового обмена между этими зонами. Знание таких зависимостей позволяет определять, на основе обработки экспериментальных результатов, параметры ν и γ , что, в свою очередь, дает возможность применения полученных результатов для создания автоматических регуляторов для конкретных технических объектов.

В диссертации решены следующие задачи как теоретического, так и прикладного характера:

1. Произведена модификация модели В.С. Голубева движения жидкости в пористой среде с застойными зонами на случай бесконечной магистрали.

2. Разработан метод анализа краевых задач фильтрации в рамках модифицированной модели С.В. Голубева.

3. Дана оценка скорости затухания фильтрационного потока в модели С.В. Голубева в зависимости от доли проточных зон и коэффициента тепломассообмена.

4. Разработана предметно-ориентированная программы для реализации предлагаемого алгоритма.

5. Проведен вычислительный эксперимент и проведен анализ полученных результатов, который позволил дать практические рекомендации, связанные с продолжительностью функционирования предлагаемой системы.

Диссертация объемом 124 страницы состоит из введения и трех глав, разбитых на 23 раздела, заключения и список литературы из 59 наименований. Работа содержит 8 рисунков и свидетельство о регистрации программ для

ЭВМ № 2015661487.

Во введении обосновывается актуальность темы, научная новизна, формулируются цели и задачи исследования. Указывается связь и основное отличие математических моделей, изучаемых в диссертации, по сравнению с ранее рассматриваемыми моделями. Отмечается, что в диссертации впервые исследуется математическая модель В.С. Голубева без начальных условий, описывающая потоки с двойственной структурой в пористых средах. Ставится вопрос о корректной разрешимости поставленных задач с указанием функциональных классов, в которых корректность имеет место.

В первой главе приводятся необходимые сведения из общей теории краевых задач для дифференциальных уравнений, которые применяются в диссертации для исследования математических моделей фильтрации. В частности, дается понятие корректной разрешимости для граничных задач Дирихле и Неймана.

Во второй главе устанавливается корректная разрешимость граничных задач для уравнения фильтрации и получены оценки корректности их решений.

В третьей главе по результатам анализа полученного решения задачи фильтрации устанавливается влияние параметров ν и γ на процесс фильтрации и решается обратная задача о получении информации относительно этих параметров на основе экспериментальных результатов.

В приложении содержится программная реализация численного решения задачи фильтрации.

В качестве замечаний отметим, что работа не лишена опечаток. Однако, их количество не превышает допустимой нормы и не умаляет значимости полученных в диссертации результатов.

Также в работе вводятся некоторые понятия, которые затем не используются. Например определение позитивного оператора, принцип Банаха–Штейнгауза, дробные степени позитивных операторов.

Наконец, желательно было бы в диссертации по математическому моделированию привести хотя бы грубую оценку сложности разработанного в работе алгоритма. Это позволило бы судить об истинной компьютерной точности полученных диссертантом численных результатов.

Впрочем, последнее замечание можно рассматривать как пожелание на будущее.

Материалы диссертации докладывались на Воронежской зимней математической школе в 2014 г., на Воронежской математической школе «Понтрягинские чтения» в 2013, 2014, 2017 гг., на Международной молодежной научной школе «Теория и численные методы решения обратных и некор-

ректных задач» в 2012 г., 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 диссертации могут быть использованы в научных исследованиях, проводимых в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, Российском университете дружбы народов, Воронежском государственном университете, Воронежском государственном техническом университете, Белгородском государственном национальном исследовательском университете.

Считаю, что диссертация «О компьютерной реализации некоторых задач фильтрации без начальных условий в пористой среде» 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. Автореферат диссертации правильно отражает ее содержание.

На основании изложенного считаю, что диссертант Фахад Дульфикар Али заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук.

Доктор физико–математических наук, профессор,
Белгородский государственный
национальный исследовательский университет



Вирченко Юрий Петрович

Белгородский государственный
национальный исследовательский университет,
ул. Победы 85, Белгород, 308012, Россия; интернет: www.bsu.edu.ru
e-mail: virch@bsu.edu.ru тел.: (4722) 30-10-35

