




«УТВЕРЖДАЮ»
Ректор Вологодского государственного
университета, доктор технических наук,
профессор  Соколов Л. И.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Аль-Кхазраджи Сундус Хатем Маджид на тему «О компьютерном моделировании некоторых задач фильтрации в пористой среде», представленную 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 нефтеносных 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 не ламинарный (но и не турбулентный) режим характерен для течения жидкости в пористой среде.

В соответствии с этим С.В. Голубевым для определения давления $p(t, x)$ предлагается интегро-дифференциальное уравнение

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

коэффициенты которого зависят от доли объема проточных зон - v , 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 $x = 0$. Однако, проблемы корректности и адекватности таких моделей проработаны недостаточно, что сдерживает фактически обоснованность применения различных процедур численного интегрирования. Решению таких проблем с применением функционального анализа и дифференциальных уравнений посвящена диссертация. Здесь с помощью методов теории сильно непрерывных полугрупп устанавливается равномерно корректная разрешимость нестационарных задач, частным случаем которых является задача для уравнения, описывающего движение жидкости в пористых средах.

Диссертация объемом 105 страниц состоит из введения и пяти глав, разбитых на 18 параграфов, заключения и список литературы из 60 наименований. Работа содержит 11 рисунков и свидетельство о регистрации программ для ЭВМ № 2015661487. 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.

Вторая глава посвящена постановке задачи фильтрации в пористой среде и исследованию ее корректной разрешимости. Выписывается явный вид решения краевой задачи для уравнения С.В. Голубева, устанавливается оценка корректности, и производится вычисление градиента давления на границе области.

Третья глава посвящена анализу и численной реализации задачи фильтрации. Для этого строится разностная схема, особенностью которой является то, что число узлов по временной переменной увеличивается от слоя к слою. Доказывается устойчивость и сходимость этой разностной схемы.

В четвертой главе проводится анализ уравнения С.В. Голубева с целью возможности автоматического регулирования процесса, и получения информации о параметрах v и y по результатам эксперимента, то есть решается обратная задача.

В пятой главе приведена компьютерная программа реализации решения задачи фильтрации, с помощью которой на тестовом примере демонстрируется рассеяние импульса давления в жидко проводящей магистрали, имеющей пористую структуру.

В качестве пожелания можно было бы продолжить исследования в следующем направлении: поскольку в диссертации вычисление параметров v и y 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 не достаточно уже при $\nu = 0$.

К числу замечаний отнесем некоторую перегруженность известными фактами, которые не используются в диссертации из общей теории дифференциальных уравнений. В частности, это относится к определению сильно непрерывной косинус функции 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.

1. В диссертационной работе предлагаются новые подходы анализа математических моделей, основополагающим математическим объектом которых являются нестационарные задачи для эволюционных уравнений, описывающих движение жидкости с двойственной структурой, учитывающей зоны смещения в пористой среде.

2. Установлена корректная разрешимость решений рассматриваемых граничных задач, описывающих такие процессы.

3. Указан регуляризирующий алгоритм численной реализации градиента давления, в проточной зоне, на границе области.

4. Решается обратная задача вычисления коэффициентов доли проточных зон и коэффициента теплообмена по результатам эксперимента.

5. Построена модель автоматического регулирования течения вязкой сжимаемой жидкости в пористой среде.

6. Построен алгоритм, который реализован в среде программирования Delphi и даны соответствующие рекомендации.

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 некорректных 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, Вологодском

