

ОТЗЫВ

на диссертационную работу Курманалиевой Гульзат Салыевны «Разработка численного решения прямой и обратной задачи распространения потенциала действия по нервному волокну» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Актуальность темы диссертации. Диссертационная работа посвящена разработке моделирования, численного метода и алгоритма прямой и обратной задачи распространения потенциала действия по нервному волокну. Изучение механизмов распространения потенциала действия по нервным волокнам (РПДНВ) имеет ценность в различных областях, таких как нейрофизиология, нейрохирургия, реабилитация и разработка новых методов диагностики и лечения нервных заболеваний. Разработка численного решения прямой и обратной задачи распространения потенциала действия позволит более подробно изучить процессы возникновения и распространения электрических сигналов в нервной системе. Это важно для понимания работы нервных волокон и механизмов передачи информации в нервной системе. Точное моделирование этих процессов поможет расширить наши знания о функционировании нервной системы и может привести к разработке новых методов диагностики и лечения нервных заболеваний.

Одной из основных задач данной работы является разработка математической модели, описывающей распространение потенциала действия по нервным волокнам. Создание такой модели позволит проводить численное моделирование процессов, что в свою очередь поможет исследователям более глубоко изучить различные характеристики распространения потенциала действия. Разработанный численный подход может послужить основой для создания компьютерных алгоритмов, которые помогут анализировать и интерпретировать результаты экспериментов.

Кроме того, предложенная в работе разработка численного решения прямой и обратной задачи распространения потенциала действия может иметь практическое применение в области нейрохирургии и нейрореабилитации. Понимание процессов обратного распространения потенциала действия может помочь в разработке новых методов стимуляции нервной системы, которые могут быть использованы, например, для восстановления функций при неврологических заболеваниях или травмах.

Таким образом, разработка моделирования, численного решения прямой и обратной задачи распространения потенциала действия по нервному волокну является актуальной исследовательской задачей, которая может привести к новым открытиям и практическому применению в области нейрофизиологии, нейрохирургии и реабилитации.

Цель и задачи исследования. Целью настоящей диссертационной работы является исследование математической модели прямой и обратной задачи распространения потенциала действия по нервному волокну, создание алгоритма численного метода прямой и обратной задачи распространения потенциала действия по нервному волокну на основе конечно-разностного регуляризованного метода, а также его анализа компьютерной реализации.

В рамках достижения поставленной цели нами выделены следующие частные задачи исследования:

1. Систематизировать и проанализировать основные применяемые в нейрофизиологии математические модели распространения потенциала действия по нервному волокну.
2. Исследовать корректность прямой задачи распространения потенциала действия по нервному волокну, т.е. обосновать существование, единственность и устойчивость поставленной прямой задачи уравнения потенциала действия.
3. Построить конечно-разностное решение прямой задачи распространения потенциала действия по нервному волокну.

4. Создать конечно-разностный регуляризованный метод определения радиуса нервного волокна (обратная задача), удельного сопротивления нервного волокна и аксоплазмы, емкости мембраны.
5. Разработать численные алгоритмы решения прямой и обратной задачи уравнения потенциала на основе вышеуказанных методов.
6. На базе предложенных разработанных алгоритмов составить комплекс программ в среде программирования Delphi XE7.

Научная новизна полученных результатов.

- Усовершенствована математическая модель прямой и обратной задачи РПДНВ в новой постановке, а именно с мгновенным и плоским источником;
- Обоснована корректность решения прямой задачи РПДНВ: существование, единственность и устойчивость решения задачи РПДНВ в новой постановке;
- Разработано конечно-разностное регуляризованное решение обратной задачи, проведены и проанализированы численные реализации задач РПДНВ в новой постановке.

Задачи являются корректными, если решение задачи существует, единственно и устойчиво. Под третьим условием корректностью устойчивости понимается такое решение, в котором малым изменениям исходных данных соответствуют малые приращения расчетных параметров.

Решение обратных задач неоднозначно в силу их некорректности, особенно третье условие корректности задачи, свойственной обратным задачам математической физики. Неустойчивость проявляется в том, что малым изменениям наблюдаемых параметров поля могут соответствовать большие изменения определяемых параметров разреза.

Особенность обратных задач состоит в некорректности, т.е. в нарушении одного из следующих условий: существование, единственность и устойчивость решения. В обратных задачах существование решения

вытекает из происхождения физического процесса, поэтому обычно обосновывается единственность, и особенно устойчивость решений.

Решение некорректных и обратных задач требуют особых методов решения. Основы теории некорректных задач заложены А.Н. Тихоновым, М.М. Лаврентьевым, В.К. Ивановым. Обратные задачи математической физики изучались их учениками и учеными Марчуком Г.И., Романовым В.Г., Кабанихиным С.И., Бухгеймом А.Л., Гласко В.Б., Гончарским А.В., Иманалиевым М.И., Клибановым М.В., Прийменко В.И., Яхно В.Г., а также зарубежные Chen Y.M., Saks P.E. и др.

С другой стороны, с развитием методов вычислительной математики и быстродействующих компьютеров в настоящее время ведутся активные разработки численных методов одномерных, двумерных и многомерных обратных задач. В этом смысле поставленные проблемы очень актуальны и современны.

Первая глава носит библиографический характер. В ней изложен обзор исследований по теме диссертационной работы.

Во второй главе описаны объект и предмет исследования, методы и основные подходы к решению поставленной задачи.

В третьей главе рассматривается математическая модель распространения потенциала действий по нервному волокну (РПДНВ), и численное конечно-разностное решение прямой задачи РПДНВ с мгновенным и шнуровым источниками. Эти задачи рассмотрены конечно-разностным методом.

При исследовании обратных задач необходимо изучить корректность соответствующих прямых задач. Доказаны теоремы существования и единственности двумерной прямой задачи уравнения РПДНВ.

Одномерные обратные задачи в различных постановках (т.е. определение различных физических характеристик) исследованы конечно – разностным регуляризованным методом в четвертой главе диссертации.

Методами решения обратных задач РПДНВ в диссертационной работе, являются метод выпрямления характеристик, метод выделения особенностей, конечно-разностный метод, конечно-разностный регуляризованный метод. Созданы математическое моделирование задачи, разработаны интерфейсы программы или компьютерные программы для их расчета и анализа результатов.

Построена конечно-разностная схема, получена оценка сходимости приближенного решения к точному и они обоснованы теоремами. Оценка зависит от шага дискретизации, ошибок измерений, нормы решений, используемых в алгоритме.

Подобные задачи исследовались другими учеными и ранее, например, с использованием итерационных методов. Недостатком итерационных методов является многократное решение соответствующей прямой задачи. Предложенные в диссертации методы свободны от такого недостатка.

Результаты пятой главы диссертации. Многие ученые-исследователи, получая хорошие результаты в теоретическом плане (существование, единственность и устойчивость решения), не доводят до численного решения и реализации. В этом смысле результаты последней пятой главы с полученными графиками дополняет этот пробел. В данной главе изложены численные алгоритмы и реализации на компьютере одномерных прямых и обратных задач РПДНВ.

Результаты численных реализаций выведены в виде графиков.

В качестве восстановления функции были взяты различные модельные функции: косинусообразные, импульсные, ступенчатые.

Отметим, что восстановление функции в обратных задачах РПДНВ осуществлено с различной относительной погрешностью: от 1% до 20 %.

Достоверность результатов заключается в теоретически обоснованном численном решении теоремами об условной устойчивости прямых и обратных задач РПДНВ и они подтверждены численными решениями и численными реализациями, полученными в виде графиков.

Постановки задач актуальны, все полученные результаты осуществлены диссертантом и являются новыми, научно обоснованными, они вносят значительный вклад в теорию и приложения обратных задач.

Считаю, что полученные результаты достаточны для предъявления в качестве кандидатской диссертации по специальности 05.13.18 математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, а диссертант Г.С. Курманалиева достойна присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Научный руководитель
д.ф.-м.н., профессор



Сатыбаев

А. Дж. Сатыбаев

