

## ОТЗЫВ

**научного руководителя на диссертационную работу Ракишевой Диляры Советовны на тему «Моделирование задач электромониторинга дамб и плотин», представленную на соискание ученой степени PhD (доктора философии) по специальности 6D070500 - «Математическое и компьютерное моделирование», выполненную на Кафедре Математического и компьютерного моделирования ЕНУ им. Л.Н.Гумилева**

Тематика работы Ракишевой Д.С. была связана с выполнявшимся в ЕНУ им.Л.Н.Гумилева в 2013-2015 гг. проектом МОН РК «Развитие метода интегральных уравнений для исследования структур неоднородных сред», в котором она была исполнителем. Тема диссертация является продолжением этого направления. В ходе работы над диссертацией ею с соавторами опубликовано 10 работ. Соискателем получен ряд новых результатов, составивших основное содержание представленной диссертации и достаточно полно опубликованных в научной печати, в том числе два результата в журналах “Mathematical Problems in Engineering” и “Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications”, включенных в индекс научного цитирования в базе данных Web Of Science. Кроме этого, докторант имеет 4 публикаций в журналах из списка рекомендованных ККСОН, таких, как «International Journal of Mathematics and Physics», в вестниках Национальной академии наук, Евразийского национального университета имени Л.Н.Гумилева и Карагандинского университета имени Е.А.Букетова. По частям работа докладывалась на ряде международных конференций и симпозиумов за рубежом и в Республике Казахстан (Новосибирск, 2019, Алматы, 2017, Нур-Султан, 2019 и 2020г.).

Прикладная значимость работы связана с наличием в РК и в мире большого количества дамб и плотин и связанных с ними рисков подтопления и прорывов. Организация мониторинга этих сооружений и разработка математических моделей опасных ситуаций является актуальной задачей. В работе рассматриваются задачи моделирования зондирования неоднородной дамбы (плотины), имеющей двумерную геометрию, при помощи установки электрической томографии ERT (Electrical Resistivity Tomography).

Все исследование выполнено в рамках одной методологии для различных конфигураций зондируемой среды и отличается внутренним единством и взаимосвязью частей. Основа методологии заключается в построении алгоритмов и программного обеспечения на основе решения систем интегральных уравнений, записанных в дискретной форме.

Выполнен расчет электрического поля и аномалий кажущегося сопротивления, связанных с формой дневной поверхности дамбы, уровнем верхнего и нижнего бьефов, влияния основания плотины, и получен самый

важный результат – выполнен расчет аномалий при формировании области протечки в теле плотины.

Новизна работы заключается, во-первых, в моделировании зондирования при поперечном положении установки, хотя на практике до сих пор применяется продольное зондирование. Во-вторых, новой является формулировка системы интегральных уравнений, которая выведена из трехмерной задачи ERT. На основе метода граничных интегральных элементов эта задача сведена к двумерной задаче. Далее, на основе преобразования Фурье, систему интегральных уравнений удастся свести к системам одномерных интегральных уравнений для дискретного набора частот. Показана работоспособность предложенного метода для расчета аномалий в кажущемся сопротивлении и численно проведен анализ чувствительности аномалий к параметрам среды. Полученные интегральные уравнения имеют т.н. полярное ядро, а значит особенность, что может вызвать проблемы в численной реализации. Однако, в расчетах, проведенных итерационным методом, диссертант удачно выполнил дискретный переход к итерированному ядру первого порядка, что существенно улучшило сходимость итераций. Численные результаты работы сопровождаются тщательным тестированием путем сравнения результатов с предыдущими исследованиями, полученными на простых моделях без применения преобразования Фурье. Кроме этого, выполнена предварительная отработка параметров расчета на простых моделях. Математические выводы строго обоснованы и последовательно изложены.

Автором получен акт внедрения программы, имеющей дружелюбный пользовательский интерфейс, за которым скрыта математическая глубина и сложность реализованных методов. В списке цитированной литературы проведен обзор работ и указаны источники, послужившие основой для развития идей, реализованных в данной диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка цитированной литературы и приложений.

Первая глава носит скорее обзорный характер и вводит читателя в существо метода электрической томографии и общепринятые математические модели. В качестве примера приведен вывод интегрального уравнения для модели среды с плоской дневной поверхностью. Приведен обзор работ по модификациям метода и математическому моделированию.

Во второй главе диссертации выведена основная математическая модель в виде системы интегральных уравнений, описан метод численного расчета, метод радиальных базисных функций (РБФ), а также перечислены функциональные возможности прикладной программы, разработанной в ходе выполнения диссертации. Приведены результаты численных экспериментов, которые показали возможности использования метода РБФ для описания топографии рельефа. Этот метод далее везде используется в численном моделировании. Автор показал, что предпочтительно использовать метод РБФ дважды – сначала для аппроксимации поверхности среды, а затем для аппроксимации распределения нормалей к поверхности.

В третьей главе описаны результаты расчетов для семи разных моделей дамб, начиная с однородного рельефа и заканчивая дамбой с протечкой, основанием, верхним и нижним бьефом. Особенностью данной постановки является то, что приходится строить равномерную сетку в криволинейной системе координат, вдоль линии, задающей форму поверхности.

В ходе решения интегральных уравнений докторант находит распределения вторичных источников на контактных поверхностях, далее вычисляет потенциал поля и рассчитывает кажущиеся сопротивление для заданной модели зондирующей установки.

Полученные в диссертации Диляры Ракишевой результаты могут найти приложение для разработки новых технологий мониторинга дамб и плотин, в которых зондирующая установка располагается поперек тела дамбы. Эти результаты могут быть также обобщены для более сложных моделей плотин, содержащих, например, внутренние экраны и составленных из многослойного материала.

Результаты работы имеют перспективы дальнейшего развития и совершенствования. Методы исследования, примененные в диссертации достаточно универсальны и могут найти приложение в других задачах, описываемых уравнениями эллиптического типа.

За время работы над диссертацией Диляра Ракишева развила свой кругозор в области теории интегральных уравнений, аппаратуры и методов электрической томографии, повышения эффективности расчетов за счет перехода к интегральным уравнениям и преобразованиям Фурье, проявила большое трудолюбие, настойчивость и способность к освоению новых идей и технологий в моделировании задач мониторинга дамб.

Исходя из вышеизложенного, считаю, что работа Диляры Ракишевой в целом имеет характер законченного исследования и соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям PhD (доктора философии) по специальности 6D070500 - «Математическое и компьютерное моделирование» и может быть рекомендована к защите.

Д-р. физ.-мат. наук, профессор



Б.Г. Муканова