

АННОТАЦИЯ

диссертационной работы Орман Индиры Маликовны
«Разработка алгоритмов и программного обеспечения для определения электромагнитных параметров включения в подстилающей среде.»,
представленном на соискание степени доктора (PhD) по специальности
«8D06101 – Информатика, вычислительная техника и управление»

Актуальность исследования. Современное развитие транспортной инфраструктуры требует внедрения высокоточных методов оперативной диагностики технического состояния объектов. Одной из ключевых задач в этой области является неразрушающий контроль многослойных инженерных конструкций и подстилающих грунтов. Среди существующих технологий особое место занимает метод георадиолокации (GPR). Несмотря на его широкое применение, процесс извлечения количественных характеристик среды (диэлектрической проницаемости и проводимости) остается трудоемким и часто требует значительных вычислительных ресурсов.

Разработка прямых численных алгоритмов, исключаящих сложную многошаговую минимизацию невязки, является актуальной научно-технической задачей. Данная работа приобретает особую значимость в контексте реализации задач, озвученных Главой государства в Послании от 8 сентября 2025 года «Казахстан в эпоху искусственного интеллекта: цифровая трансформация».

Целью исследования.

Разработка алгоритмов и программного обеспечения для определения электромагнитных параметров (диэлектрической проницаемости и проводимости) включений в подстилающей среде по данным георадиолокационного зондирования, включая калибровку источника, оценку глубины залегания и применение методов глубокого обучения для мониторинга состояния подповерхностных слоёв.

Задачи исследования.

1. Проанализировать существующие алгоритмы и методы георадиолокации для определения электромагнитных параметров подстилающей среды.

2. Разработать и реализовать методы определения глубины залегания на основе экспериментальных исследований георадаром «Лоза-В» методом зондирования и определения диэлектрической проницаемости и проводимости на основе инженерно-технических подходов.

3. Разработать методические подходы первоначальной обработке реальных данных георадара и определить калибровочную функцию влияния коэффициента влажности сред на коэффициент диэлектрической проницаемости.

4. Разработать методику мониторинга и диагностики структурного состояния подповерхностных слоёв на основе методов глубокого обучения для интерпретации георадиолокационных данных.

5. Разработать метод определения параметров источника на основе применения оптимизационного метода.

6. Разработать метод решения задачи по определению диэлектрической проницаемости и проводимости включений в подстилающей среде на основе аналитического решения для уравнения геоэлектрики в частотной области.

Методы исследования.

Применение инженерно-технических методов на основе физически обоснованных формул; математическое моделирование определения функции источника в табличной форме; определение электромагнитных свойств включения в подстилающей среде на основе аналитического метода решения задачи геоэлектрики в частотной области, а также применения методов оптимизации. Использование методов глубокого обучения (в том числе рекуррентные нейронные сети типа LSTM)

Научная новизна диссертационного исследования

1. Разработаны методы определения глубины залегания на основе экспериментальных исследований, проведенных методом зондирования с использованием георадара «Лоза-В» и методы определения диэлектрической проницаемости и проводимости на основе инженерно-технических подходов.

2. Предложены методические подходы к интерпретации и первоначальной обработке реальных данных георадара для практического применения.

3. Разработана методика мониторинга и диагностики структурного состояния подповерхностных слоёв на основе методов глубокого обучения для интерпретации георадиолокационных данных, что позволяет повысить точность распознавания неоднородностей и снизить зависимость результатов от субъективного опыта специалиста.

4. Разработан метод определения параметров источника на основе применения оптимизационного метода в табличной форме.

5. Разработан метод решения задачи по определению диэлектрической проницаемости и проводимости включений в подстилающей среде на основе аналитического решения уравнения геоэлектрики в частотной области без применения итерационных оптимизационных методов.

Основные результаты, выносимые на защиту

1. Разработаны и реализованы методы определения глубины залегания на основе экспериментальных исследований проведенных методом зондирования с использованием георадара «Лоза-В», а также методы определения диэлектрической проницаемости и проводимости на основе инженерно-технических подходов, что обеспечивает повышение точности интерпретации георадиолокационных данных.

2. Предложены методические подходы к интерпретации и первоначальной обработке реальных данных георадара для практического применения, а также к определению калибровочной функции влияния коэффициента влажности среды на коэффициент диэлектрической проницаемости.

3. Разработана методика мониторинга и диагностики структурного

состояния подповерхностных слоёв на основе методов глубокого обучения для интерпретации георадиолокационных данных, что позволяет повысить точность распознавания неоднородностей и снизить зависимость результатов от субъективного опыта специалиста.

4. Разработан метод определения параметров источника на основе применения оптимизационного метода, что обеспечивает повышение достоверности интерпретации за счёт согласования модели с экспериментальными данными.

5. Разработан метод решения задачи по определению диэлектрической проницаемости и проводимости включений в подстилающей среде на основе аналитического решения уравнения геоэлектрики в частотной области, что позволяет повысить точность восстановления геофизических характеристик исследуемых объектов.

Практическая значимость результатов исследования.

Разработка алгоритмов и программного обеспечения решения задачи по определению электромагнитных характеристик включения может быть применима для мониторинга подповерхностных слоёв дорожных конструкций, строительных участков, а также в задачах археологии. Это связано с тем, что физическое состояние подстилающих слоев (высокая влажность), наличие пустот, несомненно влияют на состояние верхних слоев, вплоть до разрушения их.

Объектом исследования - являются процессы распространения и отражения электромагнитных волн в подповерхностных неоднородных средах при георадиолокационном зондировании.

Предметом исследования - являются алгоритмы и математические модели обработки и интерпретации георадиолокационных данных.

Личный вклад докторанта.

В диссертационном исследовании автором выполнена постановка и формализация задач исследования. Разработаны математические модели, вычислительные методы, а также алгоритмы и программное обеспечение для определения электромагнитных параметров включений в подстилающей среде. Подготовлены научные публикации по теме диссертации, проведена апробация результатов исследования на международных научных семинарах и конференциях. Обеспечено практическое внедрение разработанных алгоритмов и программных средств в производственную деятельность и учебный процесс.

Апробация и публикации.

По теме диссертации опубликовано 5 научных работ, в том числе: 3 статей — в журналах, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования МНВО РК; 2 — в сборниках международных конференций; 2 статья — в журнале, индексируемом в базе Scopus. Основные результаты исследования докладывались на научных семинарах кафедры Информационно-коммуникационные технологии» Северо-Казахстанского университета имени М. Козыбаева, а также на

республиканских и международных конференциях, включая: «Теория и численные методы решения обратных и некорректно поставленных задач» (Новосибирск, 2023); «Определение калибровочной функции зависимости диэлектрической проницаемости от влажности» (Новосибирск, 2024).

Внедрение результатов и структура диссертации.

Разработанные в диссертационной работе алгоритмы и программное обеспечение успешно внедрены в учебный процесс НАО «Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева», а также в деятельность РГП на ПХВ «Национальный центр качества дорожных активов», что подтверждено соответствующими актами о внедрении.

Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка литературы и приложений. Автор выражает искреннюю благодарность научному консультанту — к.т.н, ассоциированному профессору Курмашеву Ильдар Гусмановичу, второй научный консультант д.ф.-м.н., профессору, Искакову Казизат Такуадиновичу, зарубежному консультанту физико-математических наук профессору Amir Mosavi Aliahsraf за научное руководство и поддержку.