

Сведения о выполненных работах и
полученных научных результатах в 2023 году

по проекту «**Разработка методов выявления потенциально опасных участков на автомобильных дорогах с использованием георадиотомографии**»,
поддержанному Российским научным фондом

Соглашение № 22-22-20101

Руководитель: Шипилов Сергей Эдуардович, д-р физ.-мат. наук

1. Решена обратная задача прохождения СШП сигнала через многослойную среду.

Решение обратной задачи обеспечивает получение электрофизических характеристик слоев дорожного покрытия с одновременным получением информации о его толщине. Данная задача решалась путем определения параметров слоёв дорожной одежды по задержкам принятых сигналов, полученных в режиме моностатической и бистатической локации. Как было показано на первом году выполнения проекта, данная система сводится к уравнению 4 степени. Решение уравнения проводится стандартным методом Декарта – Эйлера. Из четырех корней выбирается один исходя из физических ограничений на область допустимых решений. После определения угла падения, можно выразить показатель преломления слоя, а следом и толщину слоя. Проверка алгоритма проводилась на основе данных, собранных аппаратурой георадиотомографии ГРТ-2Х. Георадиотомограф «Терразонд» реализует метод многоракурсного георадиолокационного зондирования. Программируемая коммутация позволяет кроме стандартного режима проводить измерения в режиме моностатической и бистатической локации для возможности расчета скорости прохождения сигнала в слое. Для проверки алгоритма использовались данные, полученные во время испытаний, организованных ФАУ «Росдорнии» на полигоне ГК «Автодор» – «Автомобильная дорога А-107». Благодаря наличию априорной информации по структуре дорожной конструкции имелась возможность количественной проверки работы алгоритма в точках отбора керна.

Анализ радарограмм проводился на трассах рядом с точками отбора керна для последующего сопоставления результатов работы алгоритма и априорной информации. После интерполяции контрольных участков радарограммы и выявления границ асфальтобетона определялись временные интервалы между отражением от поверхности и отражением от подошвы асфальта, которые впоследствии использовались для расчета диэлектрической проницаемости и толщины слоя.

2. Решена задача пространственно-временной обработки принятых сигналов для обострения границ и, как следствие, повышения точности определения временных задержек сигналов.

Предложенное решение позволяет устранить проблему неточного определения границ слоев дорожного покрытия. Использование обработанных данных позволяет улучшить качество изображения, получаемого при помощи георадара, и сделать его более точным и надежным при исследовании дорожных покрытий для определения

толщины и границ слоев, а также для обнаружения слабоконтрастных подземных объектов. Алгоритм устранения синфазных помех предполагает итерационную процедуру, в которой сначала устраняются синфазные помехи верхнего слоя, а потом осуществляется переход к последующему нижнему слою. Таким образом, использование предложенной обработки обеспечивает устранение в сигнале синфазных помех первого слоя. Каждая последующая итерация будет устранять в сигнале последовательно синфазные помехи более глубоких слоев. Операцию можно проводить до тех пор, пока уровень интенсивности фильтрованного сигнала превышает уровень дисперсии шумов измерений.

3. Разработана методика расчёта параметров слоёв дорожной одежды и экспериментальная проверка с использованием георадиотомографа «Терразонд».

Методика обработки данных реализовывалась путем последовательного выполнения операций, таких как: анализ исходных материалов; формирование георадарных проектов, в состав которых вошел набор георадарных профилей, записанных на вышеуказанном участке; импорт плановых координат створов прохода георадара; интерпретация георадарных профилей; интерпретация амплитудных карт.

Для калибровки и верификации данных использовалась методика сравнения полученных данных толщины слоев с данными, полученными в ходе бурения кернов компанией РосдорНИИ. В результате сравнения максимальная погрешность определения толщины асфальтобетона георадаром «Терразонд» не превысила 0,5 см или 5 %. Таким образом, сопоставление данных, полученных георадаром, с результатами измерения по кернам, показали возможность использования георадара для обследования городских дорог и улиц с целью определения толщин дорожной одежды. На примере радарограммы тестового участка показано, что три итерации предложенной фильтрации контрастно выделяют три слоя дорожного покрытия.

4. Разработаны рекомендации по практическому применению.

В ходе тестирования были осуществлены проезды по нескольким полосам движения, которые позволили построить горизонтальные вертикальные срезы и георадарные срезы – амплитудные карты, отражающие изменение амплитуды отраженного сигнала на площади для заданной глубины. Амплитудные карты обеспечивают возможность изучения подземной среды на виде сверху, при этом секущую плоскость можно опускать или поднимать на различные глубины относительно поверхности дорожного покрытия. По результатам анализа картины на амплитудных картах и сравнения ее с картиной отдельных вертикальных разрезов георадарных профилей определялись местоположения ослабленных зон в дорожных конструкциях в плане и по глубине, которые могут привести к деформации дорожного покрытия. По результатам проведенного эксперимента были определены оптимальные параметры зондирования (шаг между радарограммами, количество элементов антенной решетки, длительность зондирующего импульса или ширина его спектра).

5. Разработано программное обеспечение для определения параметров слоёв дорожной одежды и автоматической локализации участков с признаками ослабления дорожной конструкции.

В состав программного обеспечения вошли модули решения обратной задачи прохождения СШП сигнала через многослойную среду и восстановления параметров слоев. На выходе данной программы реализованы различные представления полученных радарограмм, в том числе 3D карта распределения параметров слоев дорожной одежды с привязкой к геоданным, визуализация в трех проекциях в реальном времени с выбором цветовой схемы и контраста, отображение обработанных данных в виде трехмерного куба, с выделением неоднородностей, применением визуальных эффектов, вращением, масштабированием и срезами в трёх плоскостях, трехмерная карта поверхности.

6. Разработаны элементы база данных электрофизических характеристик композитных слоёв дорожной одежды. Так на основе собственных экспериментальных данных и данных из литературы был составлен набор данных с частотными характеристиками комплексной диэлектрической проницаемости материалов, использующихся при дорожном строительстве.