

Сведения о выполненных работах и
полученных научных результатах в 2022 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

Решена задача прохождения электромагнитных волн через плоскостойкие среды. Получены уравнения, связывающие коэффициенты отражения, полученные для моностатической и бистатической схемы зондирования с такими параметрами слоев дорожной одежды, как толщина и диэлектрическая проницаемость. Решена обратная задача расчета толщины и диэлектрической проницаемости слоев по данным радиолокационного зондирования.

Получены выражения для коэффициента отражения при зондировании произвольного количества слоев с заданными параметрами диэлектрической проницаемости и толщины слоя на выделенной частоте зондирования. Рассмотрены частые случаи решения задачи для одно-, двух- и трехслойной среды. Проведен анализ полученных выражений для анализа влияния многократного отражения на временную форму сигнала. Показана возможность решения обратной задачи нахождения диэлектрической проницаемости и толщины слоя с использованием временных задержек скачка амплитуды принятого сигнала на границе слоев в режиме моностатической и бистатической локации. Показана возможность аналитического решения этой системы для случая одного слоя. Для большего числа слоев предложено численное решение системы в режиме последовательного определения параметра каждого слоя. Проведено имитационное моделирование и показаны результаты для сред с разным количеством слоев.

Представлено решение для получения радиоизображения скрытых объектов внутри многослойных диэлектрических сред. На примере зондирования сверхширокополосными импульсами двухслойной среды воздух – слой продемонстрирована работоспособность решения. Экспериментально показана возможность выделения и визуализации неоднородностей внутри однородных и квази-однородных слоев.

Показана возможность учета разноса приемника и передатчика для использования данного метода в антенных решетках. Оценено влияние величины разноса на фазовые искажения в принятых сигналах и возможность внесения фазовой компенсации в исходные данные. Рассчитана величина фазовой компенсации в зависимости от разноса между приемной и передающей антеннами. Проведены тестовые эксперименты на уменьшенной модели георадара «Терразонд» в двуслойной среде, подтверждающие работоспособность предложенной модели. Для подтверждения работоспособности предложенного подхода были проведены

исследования на полигонах с контролируемыми характеристиками дорожного полотна. Полигоны представляли собой участки дорожного покрытия, уложенные на бетонном полу с разными размерами и разным количеством слоев. Получены результирующие радиоизображения и оценены характеристики слоев тестовых объектов.

Проведен анализ публикаций, на основании которого предложено связать характеристики асфальтобетонных смесей с их электрофизическими характеристиками, а именно с комплексной диэлектрической проницаемостью. Отмечается важность такого подхода для определения влагосодержания проб, поскольку это показатель в значительной степени определяет мнимую часть диэлектрической проницаемости. Предложен подход для определения комплексной диэлектрической проницаемости на основе электромагнитного анализа проб асфальтового покрытия с использованием коаксиальной ячейки. Представлены уравнения, связывающие частотные зависимости коэффициентов отражения и прохождения от комплексной диэлектрической проницаемости пробы. Решена аналитически обратная задача определения комплексной диэлектрической проницаемости в зависимости от измеренных параметров четырехполюсника. Проведена экспериментальная проверка на тестовых средах. Показана высокая точность определения диэлектрической проницаемости на примере измерения проб суглинков с различными характеристиками влажности.

Предложен алгоритм, в котором на вход подаются данные о композиционном составе уложенной смеси и установленной толщине слоев. Далее по калибровочным данным определяется диапазон изменения диэлектрической проницаемости для данного типа композиционной смеси. В процессе движения и зондирования автодорожного покрытия определяются временные задержки сигналов, характеризующие отражения от границ слоев дорожной одежды. Полученные многокурсовые данные используются для определения толщины и диэлектрической проницаемости слоя. Несоответствия характеристик дорожного покрытия плановым значениям представляются в виде растровой карты с привязкой к глобальным координатам.

Предложена упрощенная и не требовательная к вычислительным ресурсам технология локализации участков с признаками ослабления дорожной конструкции. Для решения задач предложен подход построения амплитудных карт по данным пространственного радиолокационного зондирования, в котором для анализа используется энергия сигнала, соответствующая подповерхностному слою. Наличие больших по амплитуде скачков амплитуды принятого сигнала свидетельствует о наличии резких границ слоев, что может быть связано как с наличием переувлажненного слоя, так и с наличием пустот. Проведены тестовые испытания и построены карты радиоволнового сканирования дорожного покрытия с использованием георадара «Терразонд». Проведен анализ избранных участков этой дороги.