МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА ДОРОЖНОГО ХОЗЯЙСТВА
(РОСАВТОДОР)

ИНФОРМАЦИОННЫЙ ЦЕНТР
ПО АВТОМОБИЛЬНЫМ ДОРОГАМ



АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ

ГЕОРАДАРЫ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Тематическая подборка

Москва 2003

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА ДОРОЖНОГО ХОЗЯЙСТВА
(РОСАВТОДОР)

ИНФОРМАЦИОННЫЙ ЦЕНТР
ПО АВТОМОБИЛЬНЫМ ДОРОГАМ

АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ

ГЕОРАДАРЫ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Тематическая подборка

Москва 2003

Методические рекомендации по применению георадаров при обследовании дорожных конструкций. (Готовятся к изданию).

Сообщение опубликовано в журнале Автомобильные дороги, 2003 г., № 9, с. 16-17 в статье Кулижникова А. и Лушникова Н. «Почему буксует георадарный контроль?».

Аппаратура для обследования дорог и инженерных изысканий // Мир дорог. – 2002. – № октябрь. – С. 29.

Георадары «ОКО-М1» позволяют:

• В непрерывном режиме проводить обследование строения дорожных одежд, осуществлять оценку толщины асфальта и бетона.

• Позволяют выявлять подземные коммуникации, пустоты и промоины.

• Производить оценку грунтово-гидрогеологических условий и т.д.

Инженерные сейсморазведочные и сейсмологические станции предназначены для проведения инженерной сейсморазведки, автоматической регистрации сейсмических сигналов от естественных и искусственных источников сейсмических колебаний, проведение региональных сейсморазведочных работ и микросейсморайонирования.

Измеритель длины свай обеспечивает их измерение методом сейсмоакустики.

Возможности определения влагонасыщенности грунтов с помощью георадара «ЛОЗА» на примере обследования промплощадки Белгородской ТЭЦ // Строит. Эксперт. Аналитич. и информац.-справоч. газ. – 2003. – № 10 (149), май.

Извлечение

Использование в строительстве современных мощных георадаров открывает широкие возможности перед проектировщиками и эксплуатационниками. Так, с помощью георадара «ЛОЗА» в течение нескольких последних лет было проведено более 200 работ, в результате которых была доказана возможность успешного его использования для решения многих задач, в частности:

- для получения геологического строения выбранных под строительство участков, даже при наличии на этих участках влажных глин, а также при расположении участков в местах плотной городской застройки;
- для определения физического состояния грунтов, наличия в них разуплотнения, полостей и т.д.;
- для нахождения подземных сооружений и коммуникаций и определения их состояния;
- для определения границ грунтовых и техногенных вод;

• для просвечивания грунтовых массивов под фундаментами сооружений, если фундаменты не содержали большого количества металла, и многого другого.

Выполняемые виды работ с использованием георадаров: [Проспект] / Архангельск. гос. техн. ун-т. Кафедра автомоб. дорог. – Архангельск, б.г. – 4 с.

Извлечение

Область применения:

- обследование автомобильных дорог;
- обследование искусственных сооружений;
- обследование существующих транспортных сооружений;
- грунтово-гидрогеологические изыскания участков местности;
- оценка запасов дорожно-строительных материалов в карьерах;
- наблюдение за состоянием дорожных конструкций;
- оценка качества выполняемых дорожно-строительных работ и т.п.

Другие виды работ:

- разработка электронных карт;
- разработка рекомендаций по применению нетрадиционных и местных материалов в дорожном строительстве.

Георадар «Грот»: [Проспект] / ЗАО «Таймер». Науч. организация. – Моск. обл., г. Троицк, б.г. – 2 с.

Извлечение

Георадар «Грот» – переносной радиолокатор подповерхностного зондирования повышенной мощности с отображением радиолокационных профилей в темпе измерения.

Обеспечивает получение регистрируемого геологического профиля на жидкокристаллическом индикаторе (ЖКИ), определение глубины и места залегания подземных неоднородностей, разнообразных предметов и объектов в земле: кабелей, труб, фундаментов, границ раздела геологических слоев и т.д.

Характеристики однородной среды	Проводимость среды (Cm/m)	Глубина зондирования (m)	Разрешение по глубине (m)	Разрешение по горизонтали (m)
Пресноводный лед	10^{-5}	250	0,1	0,5
Известняк	10^{-2}	>60	0,1	0,5
Сухой песок	$1{,}4 \cdot 10^{-4}$	>50	0,1	0,5
Влажный песок	$6{,}9 \cdot 10^{-3}$	25	0,1	0,5
Глина	$2{,}1 \cdot 10^{-2}$	8	0,1	0,5

Достоинства георадара «Грот»:

- Большая глубина зондирования (до нескольких десятков метров).
- Наглядность и оперативность в получении результатов измерений.
- Возможность перезаписи результатов измерений из внутренней памяти в компьютер.
- Малые габариты и вес (до 10 кг), что позволяет проводить измерения одному человеку.
- Повышенная помехозащищенность.

Области применения:

- Поиск подземных металлических и неметаллических коммуникаций.
- Обнаружение карстовых полостей, пустот и тектонических нарушений.
- Обнаружение захоронений вредных веществ, экологически вредных отходов.
- Неразрушающее картирование зарытых емкостей, скрытых траншей, границ загрязненных почв.

- Определение состояния опор, мостов, туннелей, фундаментов.
- Исследование состояния автомобильных и железнодорожных дорог, определение толщины насыпи и ее структуры.

Георадар «Грот-10»: [Проспект] / ЗАО «Таймер». Науч. организация. – Моск. обл., г. Троицк, б.г. – 1 с.

Извлечение

Георадары серии «Грот» представляют собой георадары нового поколения, реализующие оптимальное зондирование подстилающих поверхностей.

Георадар «Грот-10» является продолжением серии «Грот», относится к лучшим мировым образцам данного типа приборов.

Основная характерная особенность георадара «Грот-10» – высокий реальный потенциал, что позволяет успешно проводить обследования в самых сложных грунтах (влажных глинах).

Характеристики однородной среды	Глубина зондирования, м	Разрешение по глубине, м
Сухой песок	50-70	0,1
Влажный песок	25-40	0,1
Глина	8-12	0,1

Георадары серии «Грот» успешно используются:

- в строительстве (контроль за состоянием грунта в зоне инженерных сооружений);
- в нефтяной и газовой отраслях (контроль за состоянием, положением труб);
- в коммунальном хозяйстве (контроль за состоянием коммуникаций);
- в археологии (неразрушающее обследование).

Георадар «Грот-11»: [Проспект] / ЗАО «Таймер». Науч. организация. – Моск. обл., г. Троицк, б.г. – 1 с.

Извлечение

Достоинства георадара

Георадар – переносной геоинтроскоп реализующий оптимальное зондирование подстилающих поверхностей с отображением георадиолокационных профилей в процессе измерения на жидкокристаллическом экране.

Георадар является продолжением георадаров серии «Грот», относится к лучшим мировым образцам данного типа приборов.

Основная характерная особенность георадара – высокий реальный потенциал, что позволяет успешно проводить обследования в самых сложных грунтах (влажных глинах).

Характеристики однородной среды	Глубина зондирования, м	Разрешение по глубине, м
Сухой песок	До 200	0,5-1
Влажный песок	До 150	0,5-1
Глина	До 100	0,5-1

Георадары успешно используются:

- в геологии (определение глубин залегания и мощности слоев разных пород);
- в строительстве (контроль за состоянием грунта в зоне инженерных сооружений);
- в нефтяной и газовой отраслях (контроль за состоянием, положением труб);
- в коммунальном хозяйстве (контроль за состоянием коммуникаций);
- в археологии (неразрушающее обследование).

Георадары, дороги – 2000: Материалы Международного научно-технического семинара. – Архангельск: Изд-во Архангельск. гос. техн. ун-та, 2000. – 104 с.

Представлены материалы Международного научно-технического семинара, посвященные проблемам использования георадаров в дорожном хозяйстве. Приведены работы Архангельского, Московского, Тверского и Томского государственных университетов; Санкт-Петербургского государственного горного института (технического университета); научно-исследовательских институтов территориального развития и транспортной инфраструктуры (г. С.-Петербург), приборостроения (г. Жуковский) и РосдорНИИ (г. Москва); акционерных обществ «Логис», «Нева-Дорсервис», «Технотавр», «Стром-Гидроник», а также Шведских дорожной администрации и производственных компаний из г. Мала.

Рассмотрены различные конструкции и технические характеристики георадаров с грунтовыми и рупорными антенными блоками.

Приведен анализ опыта применения георадаров при обследовании автомобильных дорог, грунтово-гидрогеологических изысканий под новые трассы, оценке запасов дорожно-строительных материалов в карьерах в различных природно-климатических условиях: Швеции, Финляндии, центральной части, северо-запада и севера России. Отдельные исследования посвящены вопросам совершенствования методов зондирования, применению методов термокартирования в дорожной отрасли.

Определены новые направления исследований: использование рупорных антенн и многоканальных систем, совершенствование программ по обработке радарограмм, проведение мониторинговых работ и т.д.

На семинаре были заслушаны следующие доклады:

Орлов П.П. Внедрение новых технологий в дорожном хозяйстве Архангельской области.

Помозов В.В., Поцепня О.А., Семейкин Н.П., Семейкин Ю.Н., Дудник А.В., Флоринский В.И. Георадары серии «ОКО».

Кулижников А.М., Бурда С.Н., Минаев О.В. Применение метода георадиолокации при разведке запасов месторождений дорожно-строительных материалов в карьерах.

Глазунов В.В., Ефимова Н.Н., Никифоров А.В. Применение метода георадиолокации для поиска и разведки месторождений песка.

Лушников Н.А., Лаврухин С.В., Лушников П.А. Проблемы и опыт применения геолокаторов для целей обследования автомобильных дорог.

Кулижников А.М., Шабашева М.А., Нестеров А.П., Кулижников Д.А., Минаев О.В. Результаты георадарных обследований участков автомобильных дорог в Мурманской области.

Кулижников А.М., Шабашева М.А., Нестеров А.П., Кулижников Д.А., Горлов Д.Е., Минаев О.В. Результаты георадарных обследований участков в Архангельской области и Республике Коми.

Лукьянов С.П., Шостак А.С., Загоскин В.В., Потемин Р.В. О возможности определения электрофизических характеристик верхних слоев полотна дороги по измеренным коэффициентам отражения сверхширокополосных сигналов вертикальной и горизонтальной поляризации в свч-диапазоне.

Глазунов В.В., Ефимова Н.Н., Бутенко Г.Г. Неразрушающий контроль и промеры конструктивных слоев дорожной одежды по данным метода георадиолокации.

Сафонова Е.А. Опыт и перспективы использования георадара «ГРОТ» для исследования состояния оснований автомобильных дорог до глубины 30 метров.

Lenngren Carl A. Определение толщины покрытия с помощью ГПР (PAVEMENT THICKNESS AND GROUND PENETRATING RADAR).

Emilsson J., Friborg J. Один из методов определения содержания влаги в дорожном полотне с помощью ГПР (LIST OF REFERENCES SIMPLE METHOD FOR ESTIMATION OF WATER CONTENT OF ROADBEDS USING GPR).

Кулижников А.М., Шабашева М.А. Опыт применения георадаров за рубежом.

Кулижников А.М., Шабашева М.А. Опыт применения георадаров компанией «ROADSCANNERS» (Финляндия).

Баев М.Ю., Громов Е.Ф., Тер-Терян С.А. Применение геофизических методов при строительстве автомобильных дорог на болотах.

Петров А.В. Применение методов термокартирования при решении вопросов управления содержанием автомобильных дорог.

Владов М.Л., Калашников А.Ю., Старавойтов А.В., Токарев М.Ю. Опыт применения георадара «Зонд-12» для решения инженерных задач.

Георадары, дороги – 2002: Материалы Международной научно-практической конференции 26-28 ноября 2002 г. – Архангельск: Изд-во Архангельск. гос. техн. ун-та, 2002. – 94 с.

Представлены материалы Международной научно-практической конференции, посвященной проблемам использования георадаров в дорожном хозяйстве. Рассмотрены новые технические решения в георадарах серии «ОКО» и канадской компании Sensors & Software. Приведены результаты применения георадаров при обследовании автомобильных и железных дорог, разведке и оценке запасов дорожно-строительных материалов в карьерах, а также для контроля качества дорожно-строительных работ и изысканий новых направлений автомобильных дорог в различных природно-климатических условиях. Уделено внимание совершенствованию интерпретации данных, определению влажности грунтов, проведению мониторинговых исследований, прогнозу аварийных ситуаций на дорожных сооружениях.

Приведены результаты исследований государственных университетов: Архангельского технического, Сибирского путей сообщения (г. Новосибирск) и Томского систем управления и радиоэлектроники; научно-исследовательских институтов и предприятий: РОСДОРНИИ (г. Москва), приборостроения

(г. Жуковский), «ТЕНЗОР» (г. Москва), «ЛОГИС» (г. Жуковский) и «Палеоантропологической лаборатории» Университета Наяновой (г. Самара); дорожных центров «ИНДОР» (г. Томск) и Эстонского технического (г. Таллинн); ЗАО «ПАНАТЕСТ» (г. Москва), а также шведских дорожной администрации и производственных компаний из г. Мала.

Определены направления дальнейших исследований.

На конференции были заслушаны следующие доклады:

Верещагин А.Ф. Внедрение новых технологий в дорожном хозяйстве Архангельской области.

Кулижников А.М., Белозеров А.А., Бурда С.Н. Применение георадарных технологий в дорожном хозяйстве.

Кулижников А.М., Белозеров А.А., Бурда С.Н. Обнаружение дефектов в грунте земляного полотна и назначение ремонтных работ на основании георадарных исследований.

Лушников Н.А. Совершенствование системы диагностики автомобильных дорог георадарными методами.

Степанов Р.А., Лукьянов С.П. Исследование метода сверхширокополосной радиолокации в задачах контроля состояния верхних слоев дорожной одежды.

Семейкин Н.П., Помозов В.В., Семейкин Ю.Н., Дудник А.В., Шибанов А.Р. Новые технические решения в георадарах серии «ОКО».

Гусев С.А. Георадары компании Sensors & Software (Канада).

Андриянов А.В., Лушников Н.А. О перспективах применения многоканального георадара при обследовании автомобильных дорог.

Лукьянов С.П., Бойков В.Н., Черный И.А. Проблемы и пути совершенствования георадарных методов контроля и диагностики состояния дорожной одежды автомобильных дорог.

Mattias Olep, Oliver Akke. Применение георадаров в дорожном хозяйстве Эстонии (Integrating the GPR (radar) to Estonian roadbuilding).

Бурда С.Н., Кулижников А.М. Определение влажности грунтов при обследовании автомобильных дорог георадарами.

Белозеров А.А., Кулижников А.М. Применение георадаров для обследования оползневых участков автомобильных дорог.

Лушников Н.А., Лушников П.А., Прохоров Е.А. Результаты наблюдений за состоянием автомобильных дорог с помощью геолокатора.

Lenngren Carl A. Использование грунтового пенетрационного радара (GPR) для определения толщины покрытий автомобильных дорог (Pavement thickness and ground penetrating radar).

Emilsson J., Friborg J. Один из методов определения влажности в грунте земляного полотна с помощью GPR (List of references simple method for estimation of ater content of roadbeds using GPR).

Заморин В.В. Применение метода электромагнитного сканирования для выявления переувлажненных зон земляного полотна.

Георадары «ОКО-2»: [Проспект] / НИИП им. В.В. Тихомирова, ООО «Логис», Центр «ГЕОН» им. В.В. Федынского. – г. Жуковский, г. Москва, б.г. – 2 с.

Извлечение

Наши георадары предназначены для обнаружения в грунте, под водой, в насыпных грузах и в других средах различных предметов, неоднородностей, в том числе трубопроводов, карстовых пустот и промоин в железнодорожном и автомобильном полотне.

Георадары могут быть использованы при обследовании трубопроводов, автомобильных дорог, при проведении археологических, строительных и ремонтных работ, в поиске криминальных и контрабандных захоронений.

- Все приборы опторазвязаны с экранированными антенными блоками.

- Управление георадарами производится через порты: COM, USB, Ethernet.

- Наработан практический опыт эксплуатации приборов в Генеральной прокуратуре Российской Федерации и других силовых структурах.

Тип геора-дара	Антенные блоки	Характеристики георадара		
		Центральная частота (МГц)	Глубина зондирования (М) (max)	Разрешение (М)
«ОКО-2»	АБД	25-100	30	0,5-2,0
	АБ-150	150	12	0,35
	АБ-250	250	8	0,25
	АБ-400	400	5	0,15
	АБ-500	500	4	0,12
	АБ-700	700	3	0,1
	АБ-900	900	2	0,07
	АБ-1200	1200	1,5	0,05

- В МВД проводится опытная эксплуатация наших георадаров.
- В 1999 году издан приказ о принятии наших георадаров на снабжение в таможенных органах.
- Приборы сертифицированы.
- Гарантированное обслуживание 1,5 года.

Задериголова М.М. Радиоволновой метод в инженерной геологии и геоэкологии. – М.: Изд-во Москов. ун-та, 1998. – 320 с.

Извлечение

3.2. Аппаратура для георадиоконтроля ГРК-2М

Для проведения работ радиоволновым методом автором разработана и применялась целая серия специальной аппаратуры и макетов отдельных приборов, позволяющих изучать магнитные характеристики радиополя (РРК-1,76; РПС1-РПС6; РАП-1; ГРК-1;

ГРК-2М; ГРК-4). По назначению все виды этих приборов можно разделить на два класса:

1) однопараметровые, когда измеряется только один параметр электромагнитного поля на одной частоте (РРК; РПС).

2) многопараметровые, у которых имеется возможность контролировать несколько параметров одновременно (несколько частот, уровней мощности).

Кроме того, прибор РАП-1 (радиоволновой автопоиск) позволяет проводить непрерывный контроль грунтов в движении. Ниже приведено описание наиболее хорошо себя зарекомендовавшего устройства георадиоконтроля ГРК-2М (георадиоконтроль, вторая модель, модифицированная).

Передатчик и приемник ГРК-2М выполнены на новейшей радиоэлементной основе (транзисторные сборки, микросхемы), при современном дизайне. Аппаратура портативная, удобная в работе; радиоэлектронные блоки размещены в пыле-водозащитных корпусах и с помощью пристежных ремней крепятся на операторах.

В передатчике предусмотрены: работа в двух режимах (нормальный 1 и форсированный – 2) с плавной регулировкой мощности P_a в каждом; контроль напряжения батарей, а также звуковой тонконтроль работы передатчика. Схема содержит термостабильный кварц, обеспечивающий высокую стабильность частоты и орган регулировки резонанса в антенне.

Приемник имеет специальную антенну со встроенным антенным усилителем, аттенюатор-делитель (уровень чувствительности S), усилительно-преобразовательный блок с выходом на микроамперметр. Предусмотрены: электронная регулировка нуля «0» и «Калибровка» шкалы приемника, тонконтроль, кварцевый резонатор во входных цепях, контроль напряжения питания батарей, регулировка резонанса в антенной цепи, а также аналого-цифровой преобразователь (АЦП) для работы с внешней ЭВМ.

3.3. Рекомендации по обслуживанию ГРК-2М и технике полевых работ

3.3.1. Внешний осмотр

1. Перед началом работы необходимо осмотреть все составные части прибора. На них не должно быть грязи, повреждений; штативы должны легко раздвигаться и легко устанавливаться в рабочее положение.

2. Особое внимание следует обращать на уровни, установленные на антенных узлах; они всегда должны быть целы и исправны.

3. Высокочастотные разъемы для кабелей антенн должны быть чистыми, легко соединяться, без заметных люфтов и повреждений.

4. Необходимо проверять состояние шнура базиса Б, крепление метровых меток на нем и зацепов (крючков) для соединения его со штативом.

5. При подготовке к полевым работам всегда следует иметь с собой набор инструментов, приборов и материалов:

1) портативный тестер (мультиметр);

2) липкая изоляционная лента;

3) коробочки со спиртом, смазочным маслом, ацетоном, вазелином;

4) запасные кабели (фидеры) с наконечниками ВЧ-разъемов;

5) набор метизов (винты, гайки), которые применяются в ГРК-2М (М3; М4; М5);

6) набор инструментов (отвертки, плоскогубцы, пинцеты, паяльник с припоем и др.).

6.2.2.2. Автомобильные дороги

Воздействие карста на дневную поверхность в виде внезапно возникающих провальных воронок, оседания, вибраций при движении автопоездов, землеройной техники, автомашин создают постоянную угрозу инженерным придорожным сооружениям и самим автодорогам, ведут к аварийным ситуациям, экологическим катастрофам. Об этом, например, говорит анализ причин нарушения устойчивости земляного полотна автомобильных дорог в Крыму, Карпатах, на Кавказе, аварий строительных конструкций.

Аварийные ситуации создаются также и на автодорогах, проложенных в зонах подработки оснований земляного полотна старыми горными выработками, планов местоположения которых не сохранилось (г.г. Евпатория, Одесса, Уфа, Керчь, Донбасс и др.). Такие подземные полости образовались еще в прежние времена при бессистемной добыче каменной соли, строительного камня-ракушечника и пр. Радиоволновой метод с большой эффективностью был использован, например, при картировании катакомб на автодорогах действующего Евпаторийского завода стройматериалов (1979-82 гг.), где участились случаи провалов автотранспорта. Как легко заметить, результаты измерений на подработанных участках имеют резко аномальный характер.

Для определения местонахождения подземных пустот, катакомб метод РВМ был успешно применен в Одессе. Показаны результаты радиокартирования катакомб. Легко видеть резкое отличие графика над катакомбами от квазиоднородного; отдельные данные радиосъемки были проверены выборочным бурением.

Определенный интерес представляют проведенные нами автодорожные исследования в районе Алупкинской автостанции Южного берега Крыма (ЮБК) и примыкающих к ней участков дороги Ялта – Симеиз, расположенных на активном алупкинском оползне. Одновременно здесь же обследованы участки, находящиеся ниже дороги Ялта – Симеиз (территория санаториев «Солнечный», «Радуга»). Возле автостанции, где на протяжении ряда лет отмечаются деформационные трещины подпорных стенок, интенсивное сползание земляного полотна в овраг, радиоволновым методом были оконтурены активные участки оползневого тела, выявлены подземные струйчатые потоки, способствующие обводнению оползневых масс, активизации подвижек, а также проведены карстологические изменения.

Геолого-литологический разрез участка представлен переслаивающимися аргиллитоподобными глинами, песками, известняками, доломитами с линзами мергеля и гипса. Они обнажаются на склоне, крутизна которого 37-52°. Недавно была отмечена активная подвижка оползня (1990-92 гг.), покрытого сетью родников и мочажин (дренирование двух водоносных комплексов: безнапорного, в четвертичных отложениях, и напорного, в верхнепермских известняках, доломитах и известняках).

В ходе интерпретации полученных данных на оползневом склоне с помощью ГРК-2М выделены два типа аномалий: зоны сжатия и растяжения, линии отрыва и заколов. Характерное поведение графиков указывает на глубинную природу аномалий. Выявлены и подтверждены последующим бурением трех скважин скрытые карстовые полости, заполненные водой. Установлено, что почти все полости имеют связь с ослабленными зонами и уходят к р. Кама. Измерения показали, что закарстованность карбонатных пород характерна преимущественно для правого берега реки.

Результаты радиогеокартирования впоследствии были полностью подтверждены бурением, земляными работами и позволили оперативно откорректировать проектные решения при строительстве мостового перехода.

Изыскание и проектирование автомобильных дорог, мостовых переходов и путепроводов. Геофизические, геологические и гидрогеологические изыскания: [Проспект] / ГУП Карелавтодор. Проектная контора. – г. Петрозаводск, б.г. – 6 с.

Извлечение

Георадар «Грот» – геофизический прибор радиолокационного зондирования, способный определять строение земли глубиной до 50 м с точностью до 10 см.

Область применения:

изыскание и проектирование автомобильных дорог и транспортных сооружений;

поиск и разработка технических паспортов месторождений дорожно-строительных материалов;

геодезические, геологические и гидрологические изыскания;

изыскание и проектирование мостовых переходов и путепроводов;

создание географических информационных систем;

проведение паспортизации и диагностики автомобильных дорог с использованием передвижной дорожной лаборатории.

Кулижников А.М., Белозеров А.А., Бурда С.Н. Назначение ремонтных работ по результатам георадарных обследований / / Дороги России XXI века. – 2003. – № 4. – С. 70-73.

Извлечение

С помощью георадарных обследований автомобильных дорог по радарограммам устанавливаются границы (подошвы) грунтов и положение уровня грунтовых вод. Как показали результаты георадарных обследований, проектные толщины конструктивных слоев дорожной одежды очень часто не выдерживаются. При этом там, где не соблюдена проектная толщина слоя основания, обязательно увеличена за счет последующих ремонтных работ толщина покрытия. Первые обследования в 1998 г. 16 км автомобильной дороги Москва – Архангельск показали, что на 97% обследуемых участках необходимо сначала осушить рабочий слой земляного полотна, а потом приступать к усилению дорожной одежды. Из обследуемых участков только на 3% можно проводить усиление дорожной одежды без осушения грунтов земляного полотна.

Выявление литологических границ грунтов, которое характеризуется при георадарных работах большой амплитудой сигнала на подошве каждого слоя, позволяет на протяжении продольного профиля проследить толщину слоев из стабильных материалов, оценить состояние, а в ближайшем будущем и степень заиления кондиционных песков рабочего слоя дорожной конструкции. По времени прохождения сигнала и известной мощности слоя можно судить о влажности грунтов земляного полотна. Избыточная влажность грунтов укажет на необходимость выполнения работ по его осушению. В том случае, когда толщина слоев из стабильных материалов не выдержана, необходимо поднять земляное полотно, или обеспечить отвод поверхностных вод, или понизить уровень грунтовых вод. Для отвода поверхностных вод достаточно оценить обеспечение поверхностного водоотвода, уложить дополнительные водопропускные трубы и выполнить прочистку и углубление боковых и водоотводных канав.

Максимальная амплитуда сигнала георадара, как правило, проявляется на границе грунтовых вод, которая достаточно хорошо читается по радарограмме. При известном положении уровня грунтовых вод, когда не выдержано требуемое расстояние от уровня грунтовых вод до поверхности покрытия, необходимо при пылеватых подстилающих грунтах поднять высоту земляного полотна либо при дренирующих подстилающих грунтах понизить уровень грунтовых вод с помощью дренажей глубокого заложения, которые могут быть размещены под обочинами или кюветами.

Помимо границ грунтов и положения УГВ, с помощью георадарных технологий можно выделить следующие дефекты:

1) зоны просадочных и разуплотненных грунтов, карстовых деформаций;

2) зоны инфильтрации поверхностных и грунтовых вод;

3) зоны неоднородных, пылеватых, пучинистых грунтов;

4) положение кривой скольжения на оползневых участках;

5) пространственное расположение подошвы водоупоров;

6) вымоины и размытые зоны с переувлажненными грунтами в их основании и др.

Кулижников А. В разведку с георадаром // Автомоб. дороги. – 2002. – № 1. – С. 78-79.

Статья первая.
Ошибки, допущенные из-за неправильной оценки грунтово-гидрогеологических условий, очень дорого обходятся дорожникам. Избежать их можно, используя георадарные технологии.

Извлечение

Важность детального изучения геологического строения и поведения грунтовых или поверхностных вод при инженерных изысканиях под строительство и реконструкцию автомобильных дорог не вызывает сомнений. Однако грунтово-гидрогеологические

изыскания очень трудоемки, поэтому при их выполнении плотность шурфов, буровых и зондировочных скважин очень низкая, и результаты изысканий носят интервальный характер. Более того, при проложении новых трасс автомобильных дорог или разведке карьеров дорожно-строительных материалов не всегда механические буры могут быть доставлены к месту проведения работ, а ручным бурением также трудно добиться требуемой плотности. Геологический же разрез между двумя скважинами (или шурфами) прогнозируется геологом исходя из его знаний и опыта работы.

В то же время основные разрушения автомобильных дорог вызываются недостаточным знанием геологического строения при проектировании или непредсказуемым поведением грунтовых вод, особенно в местах между выполненным бурением. Ошибки, допущенные из-за неправильной оценки грунтово-гидрогеологических условий, очень дорого обходятся дорожникам, и их устранением приходится заниматься ежегодно, так как изменить направление эксплуатируемой автомобильной дороги не так-то просто.

А значит, необходимы высокопроизводительные, экологически чистые и неразрушающие методы определения грунтово-гидрогеологического строения, позволяющие получить непрерывные разрезы. К таким методам относится подповерхностная радиолокация, реализованная в грунтовых (контактных) георадарах.

Что же представляет из себя георадар, каков принцип его действия? Каковы научные основы его применения?

В состав георадара, например, НИИприборостроения и ООО «Логис», входят следующие устройства: антенное приемно-передающее, управления, обработки и индикации, а также блок питания и транспортное средство.

Передающее устройство представлено формирователем импульса и источником питания высоковольтного напряжения. На корпус приемной антенны установлен широкополосный усилитель приемника. Устройство управления предназначено для связи устройства обработки и индикации с приемно-передающим

устройством. Устройство управления состоит из устройства выборки и хранения, устройства стробоскопической развертки, видеоусилителя, алфавитно-цифрового преобразователя и сигнального процессора. Функции обработки и индикации выполняет ноутбук. Блок питания состоит из аккумуляторной батареи.

Работа прибора основана на использовании классических принципов радиолокации. Передающей антенной прибора излучаются импульсы малой длительности (единицы наносекунды), имеющие 2-3 полупериода квазигармонического сигнала и достаточно широкий спектр излучения.

Выбор длительности импульса определяется необходимой глубиной зондирования и разрешающей способностью прибора. Для формирования импульсов используется возбуждение широкополосной передающей антенны перепадом напряжения.

Излучаемый в исследуемую среду импульс отражается от находящихся в ней предметов или неоднородностей среды, имеющих отличную от среды диэлектрическую проницаемость или проводимость, принимается широкополосной антенной, усиливается в широкополосном усилителе, при помощи аналого-цифрового преобразователя представляется в цифровой вид и запоминается для последующей обработки с визуализацией на экране ноутбука в виде радарограммы. По скорости прохождения сигнала и характеристикам линий синфазности определяется геологическая среда.

В качестве транспортного средства могут использоваться вездеходы, снегоходы, автомобили, вертолеты. При выполнении работ на объектах малой протяженности можно вручную перемещать георадар по поверхности.

Радарограммы, полученные в полевых условиях, проходят камеральную обработку и интерпретацию по программе «Геоскан».

Кулижников А. В разведку с георадаром // Автомоб. дороги. – 2002. – № 2. – С. 10-11.

Статья вторая
О применении георадаров при диагностике автомобильных дорог

Поддержание автомобильных дорог в работоспособном состоянии требует выполнения своевременных и эффективных видов ремонтных работ. По результатам диагностики получается полный спектр количественных характеристик участков автомобильных дорог: модуль упругости на поверхности дорожной конструкции, коэффициент сцепления, ровность покрытия и т.д.

Однако они отражают только состояние поверхности конструкции, не отвечая на вопрос: а что же приводит к такому состоянию, что «болит внутри» дорожной конструкции?

Извлечение

1. Как заглянуть внутрь дорожной конструкции

В настоящее время наиболее распространенными видами ремонтов являются расчистка водоотводных канав и наиболее часто применяемое усиление дорожных одежд. Усиление дорожных одежд очень дорогостоящее мероприятие. Однако, как показали наши исследования, все это дает только временный результат на 2-3 года, так как очень часто сама причина возникновения просадок и трещин не определена и дефекты вновь появляются на новом покрытии.

Необходима методика, которая наряду с количественными характеристиками позволит установить причину разрушения, заглянув внутрь дорожной конструкции. Для назначения эффективных видов ремонтных работ необходимо знать толщины конструктивных слоев дорожных одежд; типы, влажность и плотность грунтов земляного полотна и подстилающего основания; положение уровня грунтовых вод и, наконец, пространственное очертание подошвы геологических слоев под телом насыпи, а также места расположения зон разуплотненных грунтов, пустот и инфильтрации подземных вод.

Все вышеперечисленные параметры можно определить только с помощью георадаров. Первые научные исследования с использованием георадаров, выполненные АГТУ еще в 1998 году (см. «Автомобильные дороги», 12, 1998 г.) показали, что проектная толщина конструктивных слоев дорожной одежды не выдерживается, кондиционные пески в основании дорожной одежды и теле земляного полотна заилены. Под действием динамической нагрузки в нижней части земляного полотна непосредственно под проезжей частью образовались в поперечном и продольном направлениях многочисленные углубления в водонепроницаемых грунтах, в которых скапливаются подземные воды. В полученных разрезах просматриваются зоны разуплотненных грунтов и зоны инфильтрации воды.

За три последующих года нами был накоплен большой опыт обследования дорожных сооружений. Всего обследовано более 150 км автомобильных дорог на территории 4 субъектов Федерации северо-запада России.

Цель обследований – назначение эффективных видов ремонтных работ на основе проведенных георадарных измерений. Так как одной из главных причин разрушения дорожных одежд на северо-западе России является низкая несущая способность грунта земляного полотна и подстилающих слоев, то работы проводились грунтовыми (контактными) радарами.

2. Георадары фирмы «Логис»

Перед выполнением работ изучается вся имеющаяся документация по обследуемой дороге (рабочие проекты, продольные профили участков дороги, результаты определения ровности, коэффициента сцепления и модулей упругости на поверхности покрытия и т.д.). По заданной глубине зондирования выбирается тип антенн. Проводится контрольное бурение и в зависимости от поставленных задач из расчета 3-15 скважин на 15 км автомобильной дороги с определением толщины слоев дорожной конструкции и отбором проб грунта. По отобранным пробам определяется фактическая влажность грунта. Назначается маршрут движения. Работы выполняются на базе автомобилей УАЗ при скорости 2-5 км/ч. При проведении работ придерживались следующей технологии. Записываются непрерывные файлы

протяженностью 1 км в продольном направлении, а также при ручной протяжке георадара в местах сверочных контрольных бурений в поперечном направлении. Отмечается до 30 меток на км. С помощью меток фиксируются ситуация и инженерные сооружения на дороге, техническое состояние покрытия.

Диагностика осуществляется преимущественно контактными (грунтовыми) георадарами с антенными блоками АБ-250, АБ-400 и АБ-1200 (разработчик НИИприборостроения и ООО «Логис», г. Жуковский).

В процессе выполнения работ устанавливаются следующие исходные параметры (см. табл. 1).

По результатам георадарных работ были получены достаточно хорошо читаемые волновые картинки по каждому километру обследуемых участков дорог. Предобработка, обработка и интерпретация записанных файлов выполнялись по программе «GeoScan» (разработчик программы НИИприборостроения и ООО «Логис») на кафедре автомобильных дорог АГТУ.

Исследованиями выявлено внутреннее строение дорожных конструкций (геометрическое очертание подошвы и кровли грунтов земляного полотна и подстилающего основания, зоны разуплотненного грунта, зоны инфильтрации воды и положение УГВ), определены причины разрушения покрытий автомобильных дорог.

Кулижников А., Бурда С. В разведку с георадаром // Автомоб. дороги. – 2002. – № 3. – С. 70-71.

Статья третья
Оценка запасов дорожно-строительных материалов в карьерах

Извлечение

Грунтовые радары позволяют зондировать карьеры каменных материалов и грунтов на глубину от 0,5 до 50,0 м с разрешающей способностью соответственно от 0,05 до 2,0 м. При этом метод является неразрушающим и экологически чистым.

Задачами исследований явились оценка запасов дорожно-строительных материалов и выявление возможностей применения георадаров для изысканий грунтово-гидрогеологических условий в лесу, отработка технологии проведения работ, определение размеров вскрышных работ и запасов полезной толщи в карьерах, а также поиск месторождений кондиционного песка для отсыпки земляного полотна.

Перед выполнением полевых работ изучалась вся имеющаяся документация по обследуемому району (топографические карты, продольные профили дорог, паспорта существующих карьеров). Выбирались типы георадаров и антенн, технология выполнения работ в зависимости от решаемых задач. Для выполнения работ был выбран отечественный георадар конструкции НИИприборостроения им. В.В. Тихомирова и ООО «Логис». Для оценки размеров вскрышных работ остановились на антенном блоке АБ-400, а запасов полезной толщи – на антенном блоке АБ-250 (см. табл.).

Полученные в полевых условиях радарограммы обрабатывались и интерпретировались на кафедре автомобильных дорог АГТУ по программе «Геоскан», разработанной сотрудниками ООО «Логис».

На полученных радарограммах достаточно четко просматривается вскрыша из суглинка с включениями гравия и галечника, а ниже – валунно-галечниковый грунт с песчаным заполнителем. Расчет объемов полезной толщи и вскрыши выполнялся по регулярной сетке на основе пространственного моделирования по программе CREDO.

По результатам выполненных работ установлено:

1. За две рабочие смены группой из четырех человек с использованием георадарных технологий определены запасы валунно-галечниковой смеси (рис. 2) в карьере «Октябрьский-2» (площадь 3,4 га) в размере 500 тыс.м^3.

2. Георадар с антенным блоком АБ-250 позволяет при оптимизации задания начальных параметров установить геологический разрез в карьере с сухой валунно-галечниковой смесью на глубину до 20-27 м.

3. Георадарные технологии способны эффективно оценивать запасы песчаных, гравийно-песчаных и валунно-галечниковых смесей.

4. В настоящее время георадары могут быть использованы при оценке запасов дорожно-строительных материалов в предварительно обнаруженных местах залегания полезной толщи, в то время как поиск карьеров с помощью георадаров пока еще является малопроизводительным, так как требует дополнительных исследований, связанных с выполнением тарировочных работ в разных грунтовых средах и разных природно-климатических условиях.

Таким образом, использование высокопроизводительных, экологически чистых и неразрушающих георадарных технологий исключает необходимость устройства большого количества скважин и не ведет к погрешностям, связанным с неверным толкованием прохождения подошвы геологических слоев между скважинами.

Кулижников А., Белозеров А. В разведку с георадаром // Автомоб. дороги. – 2002. – № 4. – С. 46-47.

Статья четвертая

Выявление дефектов земляного полотна георадиолокационными методами

Извлечение

Георадары позволяют определять дефекты в грунтах земляного полотна и подстилающего основания в виде размытых зон, зон суффозии, пустот, вымоин и т.д.

Доказательством эффективности этого метода могут быть работы, проведенные по договору с Департаментом дорожного хозяйства администрации Вологодской области на участке автомобильной дороги Тотьма – Нюксеница – Великий Устюг при пересечении ручья Пурный. Здесь была уложена в свое время одна из первых водопропускных труб прямоугольного сечения размером 3х3 м и длиной 46 м. Высота насыпи над трубой превышала 12 м.

Основной причиной аварийного состояния земляного полотна было попадание паводковых вод в тело земляного полотна снизу из-за нарушения сплошности водопропускной трубы. В свое время труба была устроена из железобетонных мостовых свай с омоноличиванием стенок бетоном и устройством лотка из сборных железобетонных дорожных плит. В течение последних лет было зафиксировано два паводка с расходом воды выше расчетного значения. В период этих паводков плиты подмыло и выбросило в водобойный колодец. Лоток оказался ниже уровня боковых стенок трубы.

При обследовании трубы и был зафиксирован разрыв между стенками и лотком на величину провала лотка. Боковые стенки местами выкрошились и имели вертикальные трещины. В результате этого между сваями боковых стенок, а также между лотком и боковыми стенками вода просачивалась в подошву насыпи, что привело к вымыванию грунта нижней части земляного полотна.

В момент обследования правый откос насыпи был частично размыт. Откосы насыпи были очень крутые и имели коэффициент заложения меньше требуемого. На данном участке автомобильной дороги была видна невооруженным глазом просадка на покрытии из-за осадки земляного полотна, а также просматривалась на стыке покрытия с обочиной вымоина диаметром 30 см.

Вымоина образовалась как из-за вымывания и обрушения грунта в нижней части земляного полотна, так и из-за необеспеченности поверхностного водоотвода, так как в результате осадки и снегоочистки с поверхности покрытия высотное положение бровки земляного полотна оказалось выше, чем у кромки проезжей части. Прикромочные лотки не работали, сброс воды из лотков не обеспечивался, так как были разрушены перепады из-за размыва откосов насыпи. Визуальное обследование показало, что при толщине асфальтобетонного покрытия, составляющей 18-20 см, глубина вымоины достигла в ее центре 60 см. Путем просмотра были установлены размеры вымоины в продольном и поперечном направлении, которые составили соответственно 3,6 и 4,0 м. Проблему усугубляло и то, что по данному участку автомобильной дороги осуществляли движение тяжелые автомобили – лесовозы.

Для обследования земляного полотна над водопропускной трубой был использован георадар НИИприборостроения и ООО «Логис» с антенным блоком АБ-150. Данный блок имел центральную частоту 150 МГц, паспортную глубину зондирования 6-15 м, разрешающую способность 0,35 м и массу 20 кг.

Запись радарограмм проводилась при ручной буксировке антенного блока. Работы выполнялись в режиме по перемещению при диапазоне развертки 200 нс, количестве точек по глубине 510 штук, количестве накапливаемых отчетов 8, диэлектрической проницаемости среды 4,5. Замеры выполнялись в поперечном направлении как слева, так и справа параллельно оси трубы на расстоянии 20, 50, 100, 200, 250, 300 и 400 см от внешней поверхности трубы. В продольном направлении сканирование выполнялось по левой и правой кромкам проезжей части и по оси дороги.

Земляное полотно было сложено из пылеватого суглинка. В переувлажненных суглинистых грунтах глубина зондирования антенным блоком АБ-150 достигает всего лишь 5-6 м. Работы выполнялись летом при сухих грунтах земляного полотна, когда влажность суглинка в теле насыпи была минимальной. Тем не менее предпринятые попытки увеличить глубину зондирования до 10-12 м путем усиления сигнала привели к тому, что до глубины 5-6 м сигнал был хороший и была получена полная информация, а глубже были различимы только пустоты.

После обработки и интерпретации полученных радарограмм были построены разрезы состояния земляного полотна над водопропускной трубой вертикальной плоскостью в продольном и поперечном направлениях, а также горизонтальной плоскостью. При этом программа «Geoscan» (разработчик НИИприборостроения и ООО «Логис») позволяет просмотреть разрезы любой из перечисленных плоскостей при любом шаге, а также построить пространственные картинки при различных расстояниях вертикальных (расстояние от бровки земляного полотна и оси трубы) и горизонтальных разрезов (расстояние от поверхности покрытия) (см. схемы).

По результатам работ было установлено:

а) большая размытая зона с переувлажненным основанием находится под правой полосой движения и имеет следующие максимальные размеры: ширина 3,0 м, длина 6,0 м и глубина до 5 м от поверхности покрытия;

б) малая размытая зона с переувлажненным основанием находится также под правой полосой движения и имеет длину 3,0 м, ширину 4 м и глубину до 1,4 м от поверхности покрытия;

в) пять узких и глубоких цилиндрических вымоин, по которым вода просачивается в основание земляного полотна из вышеуказанных зон переувлажненного грунта. Диаметр вымоин от 0,6 до 1,3 м.

Данные явления (размытые зоны и вымоины) можно объяснить тем, что в суглинистом грунте были включения из супесчаного и песчаного грунта, по которым наблюдались вымывание частиц грунта снизу из-за разрушения конструкции трубы и фильтрация поверхностных вод.

Таким образом, неразрушающими (бурение не выполнялось). экологически чистыми методами в течение одной рабочей смены двумя операторами было выполнено сканирование. Около недели было затрачено на обработку и интерпретацию радарограмм. Результаты этих работ позволили получить качественные (внутренние дефекты земляного полотна) и количественные (месторасположение) оценки состояния земляного полотна.

Кулижников А. В разведку с георадаром // Автомоб. дороги. – 2002. – № 5. – С. 72-73.

Статья пятая
Грунтово-гидрологические изыскания трасс автомобильных дорог с использованием георадаров

Извлечение

Грунтово-гидрогеологические условия определяют строительную стоимость дорожного сооружения и во многом влияют на работоспособность и затраты в процессе эксплуатации автомобильной дороги.

Одной из первых организаций, которая отошла от традиционной технологии, стало государственное унитарное проектно-сметное предприятие Мурманской области, которое применило георадарные технологии на участке спрямления автомобильной дороги Кола – Верхнетуломский – КПП «Лотта» общей протяженностью 9 км.

Условия Мурманской области являются одними из идеальных для применения георадаров, так как характеризуются залегающими в подстилающих слоях крупнообломочными и гравелистыми грунтами. Проектировщики ГУ ПСП заинтересовались возможностью выполнения работ георадарами непосредственно в лесу. Тем более что буровую сюда направить оказалось невозможным (из-за отсутствия подъездных путей), а бурение ручным буром, как показала практика, очень часто не приносит успехов из-за включений в мореные грунты больших валунов.

Согласно заданию ГУ ПСП Мурманской области необходимо было получить грунтово-гидрогеологический разрез в продольном направлении по оси трассы и в поперечном направлении на трудных по грунтово-гидрогеологическим условиям участках на ширину полосы отвода.

Работы выполнялись сотрудниками кафедры автомобильных дорог Архангельского государственного технического университета в июле 2001 г. грунтовым радаром с антенным блоком АБ-400, разработанным НИИприборостроения и ООО «Логис». Радарограммы в продольном направлении записывались в среднем через 200 м, а в поперечном направлении фиксировались протяженностью около 50 м. Некоторые небольшие по длине участки по оси трассы были обойдены стороной из-за большой косогорности местности в поперечном направлении, наличия поверхностных вод, а также из-за присутствия больших камней с неровной поверхностью.

Суммарная длина таких участков не превысила 3% от общей протяженности трассы. Осуществлялась привязка полученных радарограмм к прорытым шурфам и ранее пробуренным скважинам. При обработке радарограмм на кафедре автомобильных дорог АГТУ по программе «Геоскан» (разработчик программы

НИИприборостроения и ООО «Логис») осуществлялась послойная корректировка диэлектрической проницаемости с привязкой к известным разрезам, что позволяло избежать ошибок в определении глубин при интерпретации.

Анализ полученных радарограмм показал следующее:

1. Определены непрерывные глубины заложения кровли и подошвы геологических слоев, и выявлено положение уровня грунтовых вод.

2. Толщина «мертвой зоны» (зоны, где преобладают параллельные поверхности земли сигналы и на глубине которой трудно говорить о геологическом строении) зависит от плотности контакта с поверхностью земли и изменяется от 20 до 45 см.

3. Глубина зондирования составила 5,8-6,2 м с разрешающей способностью 15 см.

4. При исследовании радарограмм в продольном направлении обнаружены глубокие участки болот, не выявленные при традиционных изысканиях, так как в ряде случаев зондировочные скважины были выполнены не в самых глубоких местах.

5. При анализе радарограмм в поперечном направлении предложено проектировщикам на ряде участков сместить ось трассы. Причиной послужили зафиксированные участки на болотах с большой косогорностью минерального дна, а также определение на некотором расстоянии от оси мест благоприятного проложения трассы по лучшим грунтово-гидрогеологическим условиям.

6. Рассмотрение радарограмм в поперечном направлении, которые совпали в начале трассы с существующей автомобильной дорогой, показало, что основание земляного полотна из суглинистого грунта под действием автомобильной нагрузки стало иметь очертание корыта, в котором скапливаются грунтовые воды. Как правило, на таких участках зафиксированы трещины на поверхности покрытия дорожной одежды.

7. Были определены параметры кривой скольжения (использовался антенный блок АБ-150), по которым можно оценить устойчивость оползневого участка.

Следует отметить, что стоимость изыскательских работ по предлагаемой технологии увеличивается незначительно, в то время

как сокращение транспортно-эксплуатационных расходов будет на несколько порядков больше. Предварительные расчеты показали, что трасса, проложенная по лучшим грунтово-гидрологическим условиям, будет эффективнее даже при ее удлинении на 13,5% по сравнению с кратчайшим направлением. При этом в расчетах не учтена экономия на сокращение затрат на ремонт автомобильной дороги в процессе эксплуатации.

Кулижников А.М. Георадарные технологии в проектах автомобильных дорог // Дороги России XXI века. – 2003. – № 4. – С. 70-72.

Извлечение

При изысканиях и проектировании дорог георадарные технологии позволяют:

- изыскать грунтово-гидрогеологические условия местности;
- определить положение уровня грунтовых вод;
- оценить глубину водоема или реки в месте будущего мостового перехода и установить геометрические параметры по дну русла;
- определить места размещения и размеры инженерных коммуникаций;
- разведать и оценить запасы полезной толщи в карьерах;
- оценить влияние автомобильных дорог на окружающую среду (например, при пересечении болот) и т.д.

При научном сопровождении проектов строительства автомобильных дорог с помощью георадаров можно проводить следующие работы:

- осуществлять приемку скрытых работ;
- разведывать и определять запасы дорожно-строительных материалов и вскрышных пород в притрассовых карьерах, а также устанавливать оставшиеся запасы полезной толщи в ходе строительства;

- оценивать толщину слоев вновь построенной дорожной конструкции;
- выполнять контроль плотности и влажности уложенных материалов;
- определять толщину льда на технологических дорогах и автозимниках и т.д.

В проектах содержания автомобильных дорог с помощью георадаров можно:

- определить несущую способность дорожных конструкций через толщины слоев и влажность грунтов земляного полотна;
- спрогнозировать положение кривых скольжения и возможное нарушение устойчивости откосов насыпей;
- оценить однородность грунта земляного полотна;
- выполнить мониторинговые наблюдения за поведением дорожных конструкций;
- оценить скорость промерзания и оттаивания земляного полотна в период распутиц и т.д.

В настоящее время от убеждения эффективности георадарных технологий в дорожном хозяйстве и обобщения полученных результатов необходимо перейти к научному обоснованию выявления локальных дефектов: зон разуплотненных и переувлажненных грунтов, вымоин, кривых скольжения, зон инфильтрации воды и суффозии грунтов, а также к созданию методик для проведения различных видов георадарных работ. Научное обоснование дефектов внутри дорожных конструкций позволит перейти и к новому уровню назначения эффективных ремонтных работ.

Применение высокопроизводительных, неразрушающих и экологически чистых георадарных технологий в дорожном деле по каждому из вышеприведенных направлений дает возможность существенно снизить строительные и эксплуатационные расходы и в то же время повышает надежность дорожных сооружений. При этом использование георадаров в дорожном хозяйстве многоплановое и до сих пор все возможности георадарных технологий еще не раскрыты.

Кулижников А., Лушников Н. Почему буксует георадарный контроль // Автомоб. дороги. – 2003. – № 9. – С. 16-17.

Извлечение

Помимо толщины георадарами можно оценивать и степень уплотнения дорожно-строительных материалов. Судите сами, диэлектрическая проницаемость воздуха 1, воды 81, каменного материала изменяется от 4 до 10. При разной степени уплотнения и влажности материалов можно замерять диэлектрическую проницаемость материала слоя, а по ее значению оценивать степень его уплотнения. Чем меньше воздуха, тем выше диэлектрическая проницаемость и наоборот.

В настоящее время в семействе георадаров «ОКО» появились грунтовые (контактные) радары с антенным блоком АБ-1200. Эти радары НИИприборостроения из Жуковского и ООО «Логис» выпускают серийно. Гарантированная глубина зондирования 0,3-0,8 м при разрешающей способности по паспортным данным до 0,05, а фактически удается достичь в асфальтобетоне до 0,005-0,01 м. Проходит опытную проверку радар с антенным блоком АБ-1700, который имеет еще лучшую разрешающую способность. Однако данные радары эффективны при работе на покрытии без больших выбоин. В ГП «Росдорнии» имеются также георадары, пока выпускаемые в индивидуальном порядке. Это «ДРЛ» с рупорными (воздушными) антеннами. Они работают на частоте 1000-2000 МГц, глубина зондирования до 0,5-1,5 м и разрешающая способность 0,02-0,04 м. Эти же антенны могут быть применены при плохом, разбитом покрытии.

Результаты работ, выполненных в летний период 2002 года с помощью георадара с антенным блоком АБ-1200 в Ярославской области, показали, что при проектной толщине асфальтобетона 17 см на участке протяженностью 800 м толщина изменялась от 12 до 27 см. При этом четко установлены по протяженности дороги границы, где недостаточная толщина слоев основания и покрытия, а где избыточная толщина этих слоев.

На рис. 1 приведены границы слоев дорожной одежды, отсканированные георадаром в поперечном направлении. Из рисунка следует, что толщины слоев дорожной одежды по различным направлениям движения различные. На рис. 2 приведены границы слоев дорожной одежды, полученные георадаром в продольном направлении на протяженности 500 м (здесь по горизонтали вверху – протяженность обследуемого участка, по вертикали слева – глубина зондирования, по вертикали справа – время прохождения сигнала). Из рисунка следует, что на тех участках, где недостаточная толщина слоя основания, толщина асфальтобетонного покрытия была в процессе эксплуатации дороги увеличена за счет ремонтных работ. Невольно возникает вопрос: а что дешевле – выполнить основание до проектной толщины или обеспечивать несущую способность дорожной одежды за счет чрезмерного увеличения толщины покрытия, не реагируя на уменьшенную толщину основания? Конечно, дешевле увеличить толщину основания.

ГП «Росдорнии» в своих конкурсных предложениях на торги по ПИР на ремонт и реконструкцию участков автомобильных дорог предлагает обследовать существующие дорожные конструкции георадарами, чтобы определить истинные причины разрушений. Однако заказчики с завидным постоянством отдают предпочтение своим проверенным подрядным организациям, которые хотя дают более высокую стоимость работ и применяют старые технологии, но служат верой и правдой своему заказчику уже не один десяток лет. И это, безусловно, немало и заслуживает уважения. Хотя для пользы дела, как нам, кажется, полезно было бы показать своему подрядчику, как надо работать, какую технику использовать, как сэкономить на стоимости ремонтных работ и последующих эксплуатационных расходах, тем самым вынудить подрядчика работать по-новому.

В заключение следует сказать, что георадарный контроль качества работ нужен, нужны и передовые технологии, противиться внедрению которых просто недальновидно.

Кулижников А.М., Шабашева М.А. Георадары в дорожном строительстве. – М., 2000. – 51 с. – (Автомоб. дороги: Обзорн. информ. / Информавтодор; Вып. 2).

Извлечение

2. НАЗНАЧЕНИЕ ГЕОРАДАРОВ

Для георадаров характерна универсальность, позволяющая использовать данные приборы по широкому спектру назначений в геологии, транспортном строительстве, промышленном и гражданском строительстве, экологии, космических исследованиях, археологии, оборонной промышленности и т.д.

В геологии георадары применяются для определения геологических сечений и положения уровня грунтовых вод; глубины и геометрических параметров дна рек и озер; границ распространения и объемов полезной толщи в карьерах; положения карстовых воронок и пустот; толщины льда на озерах и реках.

В транспортном строительстве (автомобильные и железные дороги, аэродромы) георадары используются для определения толщины конструктивных слоев дорожной одежды и качества уплотнения дорожно-строительных материалов; изыскания карьеров дорожно-строительных материалов и оценки оснований под транспортные сооружения; распределения глубины промерзания в грунтовых массивах и дорожных конструкциях; содержания влаги в грунте земляного полотна и подстилающих грунтовых основаниях; эрозии грунтов на участках мостовых переходов.

В промышленном и гражданском строительстве помимо всего вышеперечисленного георадары нашли применение для определения качества и состояния бетонных конструкций (мостов, зданий и т.д.); состояния дамб и плотин; выявления оползневых зон; месторасположения инженерных сетей (металлических и пластиковых труб, кабелей и других объектов коммунального хозяйства).

В решении вопросов охраны окружающей среды и рационального использования земель георадары используются для оценки загрязнения почв; объемов утечек из нефте- и водопроводов;

мест захоронения экологически опасных отходов; обнаружения нефти под морским дном.

В исследованиях космоса георадары позволяют смоделировать поверхности планет и оценить их рельеф.

В археологии при помощи георадаров устанавливают места нахождения археологических объектов и границы их распространения.

В оборонной промышленности георадары используются для обнаружения мест заложения мин, расположения подземных тоннелей, коммуникаций и складов, установления мест захоронения как техники, так и трупов.

Как показывает обзор результатов исследований, георадарные изыскания можно выполнять не только в отдельных стационарных точках, но и непосредственно при движении по маршрутам большой протяженности. В этом случае результатами измерений являются непрерывные профили волновых изображений. При наложении нескольких маршрутов можно получить пространственные трехмерные данные с выявлением как продольных, так и поперечных очертаний подошв геологических слоев, положения уровня грунтовых вод, нулевой изотермы промерзания и т.д.

Указанные возможности георадаров далеко не исчерпывают полного списка областей их применения, так как только при широком применении георадаров можно выявить дополнительные их способности. Например, известно об использовании георадаров для прогнозирования устойчивости старых вековых деревьев, для определения миграции рыбы, поиска сокровищ и т.д.

3. КЛАССИФИКАЦИЯ И КОНСТРУКЦИИ ГЕОРАДАРОВ

Можно выделить несколько классификаций георадаров, которые определяются разными факторами.

Чаще всего георадары классифицируют по назначению, когда в зависимости от области применения используются те или иные модификации, отличающиеся как глубиной зондирования, так и разрешающей способностью, и частотой используемых антенн.

Георадары также классифицируются по типу применяемых антенн.

Грунтовые (контактные) антенны непосредственно соприкасаются с поверхностью земли или дорожных конструкций. Такие антенны имеют частоту от 50 до 1500 МГц, характеризуются скоростью сбора данных от 5 до 20 км/ч. Они предоставляют возможность определить толщину конструктивных слоев дорожной одежды мощностью от 0,1 до 3,0 м; земляного полотна и подстилающих грунтов на глубину от 1 до 20 м.

В связи с тем, что увеличение скорости транспортных средств при измерениях более 20 км/ч приводит к повреждению грунтовых (контактных) антенн, в целях повышения производительности работ применяются воздушные антенны.

Воздушные (рупорные) антенны, которые непосредственно не соприкасаются с поверхностью земли или дорожной конструкцией, так как размещаются от них на высоте 50-70 см. Данные антенны имеют частоту от 500 до 2500 МГц, характеризуются скоростью сбора данных от 50 до 100 км/ч. Применяются для определения толщины покрытия и верхних слоев основания дорожной одежды на глубину от 0,02 до 0,80 м.

В состав комплекта георадара входят следующие составные части [1]:

- четыре устройства: антенное приемно-передающее, управления, регистрации и отображения;
- блок питания;
- транспортное средство.

Передающее устройство представлено формирователем импульса и источником питания высоковольтного напряжения. На корпус приемной антенны установлен широкополосный усилитель приемника. Устройство управления предназначено для связи устройства обработки и индикации с приемно-передающим устройством. Устройство управления состоит из устройства выборки и хранения, устройства стробоскопической развертки, видеоусилителя, алфавитно-цифрового преобразователя и сигнального процессора. Функции обработки и индикации выполняет ноутбук. Блок питания представляет собой аккумуляторную батарею, в качестве которой применяются необслуживаемые свинцово-кислотные батареи импортного производства.

Работа прибора основана на использовании классических принципов радиолокации. Передающей антенной прибора излучаются импульсы малой длительности (единицы наносекунды), имеющие 2-3 полупериода квазигармонического сигнала и достаточно широкий спектр излучения. Центральная частота сигнала зависит от типа антенны.

Выбор длительности импульса определяется необходимой глубиной зондирования и разрешающей способностью прибора. Для формирования импульсов используется возбуждение широкополосной передающей антенны перепадом напряжения.

Излучаемый в исследуемую среду импульс отражается от находящихся в ней предметов или неоднородностей среды, имеющих отличную от среды диэлектрическую проницаемость или проводимость, принимается широкополосной антенной, усиливается в широкополосном усилителе, при помощи аналого-цифрового преобразователя преобразуется в цифровой вид и запоминается в долговременном запоминающем устройстве для последующей обработки. После обработки полученная информация отображается на индикаторе.

В качестве транспортного средства могут использоваться: вездеходы, снегоходы, автомобили, вертолеты. При выполнении работ на объектах малой протяженности до 1-2 км можно обойтись без транспортного средства, перемещая георадар по исследуемой поверхности буксировкой вручную.

4. ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОРАДАРОВ В ДОРОЖНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

4.1. Опыт применения отечественных георадаров

Метод поверхностной радиолокации грунтов получил развитие в бывшем СССР в начале 60-х годов (Ленинградский Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, В.В. Богородский, В.Н. Рудаков и М.А. Гинсбург). Недостаток первых разработок характеризовался малой разрешающей способностью, так как прибор отличался незначительной глубиной зондирования, поскольку только при ней удавалось отделить отражающий сигнал от зондирующего.

Для уменьшения «мертвой зоны» – отрезка времени, в течение которого происходит затухание зондирующего импульса и восстановление чувствительности приемного тракта, – И.А. Куком был применен метод «ударного возбуждения» антенны, что позволило резко улучшить разрешающую способность прибора. После этого метод подповерхностной радиолокации получил существенный толчок в своем развитии. Зондирование выполнялось в высокоомных средах: (во льду, воде, торфе, песках, известняках, мерзлых породах).

В проблемной лаборатории Рижского Краснознаменного института инженеров гражданской авиации (РКИИГА) под руководством М.И. Финкельштейна был создан ряд специальных геолокаторов. Так, в 1976-1977 гг. был разработан наземный радиолокатор с ударным возбуждением антенны. Подобные работы велись и в Ленинградском Арктическом и Антарктическом научно-исследовательском институте (ЛААНИИ).

Разработанный в РКИИГА наземный радиолокатор был испытан при подповерхностном зондировании торфяных месторождений в Латвийской ССР и Вологодской области (глубина зондирования верхового торфа составляла 8-9 м, а низинного – 4 м), а также при определении уровня грунтовых вод на песчаных и супесчаных почвах.

Первые отечественные работы по зондированию торфа были выполнены на торфяном массиве верхового типа Терелесово-Грядского месторождения Калининской области (д. Гряды). Протяженность трассы составила около 2,5 км. При проведении работ было выполнено шесть заходов. Для сопоставления полученных результатов с геологическим профилем, а также для определения типа подстилающего грунта через каждые 100 м трассы проводились ручные контрольные бурения. Антенны буксировались за вездеходом на санях на расстоянии 5-7 м и закреплялись на высоте 30 см от поверхности. Генератор вырабатывал импульсы длительностью 7 нс амплитудой 180 В с частотой 30 кГц. Исследуемые участки характеризовались толщиной торфяного слоя от 0,8 до 3,3 м, а подстилающими грунтами являлись пески, супеси, суглинки и глины. Информация о толщине торфяного слоя изображалась в виде

радиопрофилограммы, на которой непрерывно регистрировались две яркостные засветки, одна из которых соответствовала сигналу, отраженному от поверхностной границы торфа, а другая – отраженному от границы торф – подстилающий минеральный грунт. Скорость распространения радиоволн в торфе определялась по относительным изменениям толщины слоя и временного интервала между засветками. Скорость распространения зондирующего сигнала в торфе получена 37,5 м/мкс, при этом погрешность в определении толщины слоя торфа не превысила 3%.

Подобные испытания проводились в Латвии на участке протяженностью 7 км. Через каждые 100 м выполняли ручное бурение. В качестве передатчика использован генератор перепада напряжения длительностью 0,3 нс амплитудой 150 В, приемника – стробоскопический преобразователь. Для записи, хранения и воспроизведения информации использован двухканальный магнитофон. При сопоставлении данных радиолокационных измерений и ручного бурения абсолютная погрешность радиолокационного метода не превысила 26 см, а среднеквадратичная погрешность, рассчитанная по 48 контрольным точкам, составила 12 см.

При выполнении вышеуказанных работ впервые были выделены сигналы, которые фиксируют границу между слоями торфа, отличающимися влажностью и степенью разложения, а в отдельных случаях – между торфом и сапропелем.

Выполнены работы по радиолокационному зондированию мерзлых грунтов с борта самолета или вертолета. Оказалось, что ложные отражения от неровностей рельефа поверхности не позволяют однозначно интерпретировать результаты зондирования.

На основе разработок Отраслевой научно-исследовательской лаборатории Калининского политехнического института (ОНИЛ КПИ) в 1986 г. в СССР был выпущен первый серийный аппарат С-023 «СОКТИ».

Кроме него стадию опытно-конструкторских работ прошел локатор 17-ГРЛ-1, разработанный во Всесоюзном научно-исследовательском институте радиолокации для изучения геомерзлотного разреза.

В СССР нашли применение локаторы на импульсных сигналах. К ним относится станция С-023, разработанная в институте СОКТИ (г. Ленинакан) при АН Армянской ССР.

А.В. Переходовым при выполнении экспериментальных работ применялись георадар С-023 и макет, изготовленный в ОНИЛ КПИ. В качестве приемной и передающих антенн использовались широкополосные вибраторы, которые вначале представляли собой два лепестка из стальной гибкой сетки с мелкой ячейкой. Размер лепестка составлял 250х400 мм. Для уменьшения отражения от поверхности торфа использовался лист поролона (толщиной 15-20 см), который пропитывался водой. Позднее в качестве приемной и передающей антенн были использованы высоковольтные кабели, уложенные на несколько слоев пропитанного водой поролона. Исходным материалом для получения профилограмм являлась магнитная запись, получаемая в результате зондирования болотного массива. Используемая конструкция георадара была еще далека от совершенства.

Тем не менее, в конце 80-х годов А.В. Переходовым были разработаны первые отечественные рекомендации по изысканиям автомобильных дорог на полосе варьирования трассы с использованием метода радиолокационного зондирования слабых грунтов. В начале 90-х годов им же были проведены работы в Западной Сибири (о. Самотлор) с использованием радиолокатора ГРЛ-17, изготовленного в Ереванском опытно-экспериментальном институте. При исследованиях среднеквадратичная ошибка определения глубины минерального дна составила 0,2 м.

В середине 90-х годов НПО «ИНФИЗПРИБОР» (г. Троицк Московской области) разработало переносной георадар «ГРОТ», который характеризовался повышенной мощностью с отображением радиолокационных профилей. Каждому измерению соответствовал столбец из 64 сдвинутых во времени точек, а всего в кадре записывалось 120 измерений. В другом режиме регистрировалась волновая форма сигнала. В памяти радара хранилось до 64 кадров, при этом был возможен просмотр любого из них на экране и вывод через последовательный порт в компьютер.

Георадар «ГРОТ» имел следующие технические характеристики:

Диапазон частот, МГц 25-150
Диапазон регистрируемых задержек, нс 2-102
Дискретность регистрируемых задержек, нс 2
Чувствительность приемника, мкВ 300

Амплитуда сигнала на антенне
передатчика, кВ 10
Потребляемый ток от аккумуляторной
батареи 12 В:
при регистрации, А 2,5
при просмотре, А 0,3
Общая масса, кг .....Менее 10
Диапазон рабочих температур, град .....-10 – +40

В этот же период времени в рекламных материалах появились сведения о георадиолокаторе «ЛОКАС-2», который обеспечивал непрерывное профилирование вдоль линии наблюдения. Впервые в России этот георадиолокатор размещался в герметизированном кузове-фургоне, установленном на самоходном шасси повышенной проходимости автомобиля ЗИЛ-131. Вычислительный комплекс георадиолокатора был построен на базе микро-ЭВМ. Отображение информации осуществлялось на экране видеотерминала с цветной растровой индикацией разреза среды. Регистрация информации осуществлялась на магнитном носителе. Данный прибор отличали следующие характеристики:

Глубина зондирования, м .....до 120
Разрешающая способность по глубине, м 0,5
Частота зондирующего сигнала, МГц .....30-250.

В 1997 г. ООО «ЛОГИС» провело исследования с использованием своей, одной из совершенных на сегодняшний день, конструкции георадара на Выборгском шоссе (Санкт-Петербург), на участке Октябрьской железной дороги (Московская область), на территории проектируемого газопровода в Выборгском районе. Георадар обеспечивал максимальную глубину зондирования 0,3-8,0 м, разрешающую способность 0,06-0,3 м в зависимости от типа антенного блока. Выполненные работы подтвердили эффективность георадара при измерениях в грунтах и породах, имеющих высокое электрическое сопротивление: сухих песках, гнейсах, гранитах, известняках, пресных льдах и воде, в то время как глубина

зондирования резко снижалась в тяжелых грунтах типа глин и суглинков.

В настоящее время георадары ГП НИИприборостроения им. В.В. Тихомирова и ООО «ЛОГИС» имеют следующие технические характеристики (табл. 1).

Таблица 1

Тип георадара	Тип антенны	Частота антенны, МГц	Глубина зондирования, м	Разрешающая способность, м	Масса комплекта, кг	Потребляемая мощность, Вт
«Геон»	АБ-25	25	20-30	1,5-2,0	12,0	8,0
	АБ-50	50	15-20	1,0	11,0	8,0
	АБ-100	200	8-15	0,5	10,0	8,0
«Гея»	АБ-250	250	4-8	0,25	14,0	7,0
	АБ-400	400	2-5	0,15	8,5	5,0
«Зонд»	АБ-700	700	1-3	0,1	4,5	5,0
	АБ-1200	1200	0,5-0,8	0,05	3,75	5,0

В июне 1998 г. в целях оценки возможности эффективного применения георадаров Архангельским государственным техническим университетом совместно с Центром региональных геофизических и геоэкологических исследований «Геон» было выполнено обследование участка протяженностью 16 км автомобильной дороги Архангельск – Москва.

Обследуемый участок был построен в 70-е годы в пределах Холмогорского района Архангельской области и на момент исследований находился в неудовлетворительном эксплуатационном состоянии.

При обследованиях на каждом километре выбирали в среднем по 10 участков протяженностью по 5 м каждый, на которых выполняли непрерывное зондирование.

Работы были проведены преимущественно георадаром с антенной А4 (частота 400 МГц), которая предназначалась для определения грунтово-гидрогеологического разреза. Параметры измерений выбирались такими, чтобы обеспечивалась разрешающая способность по вертикали порядка 15 см.

Антенна равномерно перемещалась оператором по поверхности покрытия при ручной транспортировке с такой скоростью, которая обеспечивала заданное количество реализаций на фиксированной длине участка.

При выполнении работ информация в виде отдельных для каждого 5-метрового участка файлов накапливалась на «жестком» диске компьютера Notebook Pentium. Время работы в поле ограничивалось типом применяемых источников питания, а именно: аккумуляторов HV 7-12 (Япония) емкостью 7,5 А/ч, позволяющих вести полевые работы в течение 12-14 ч ежедневно. Подзарядка аккумулятора производилась от серийного блока 220/12 В, 2 А. Контрольное бурение выполнялось в трех точках, размещенных в начале, середине и конце обследуемого участка автомобильной дороги.

Все файлы обрабатывались в Центре «Геон» по программе, позволяющей увеличить контрастность, снизить влияние погрешностей, осуществить перевод файлов в режим видеообработки и т.д. В результате были построены волновые изображения по длине и глубине каждого 5-метрового участка в продольном профиле и 12-метровых участков в поперечном профиле. Гравийно-песчаная смесь идентифицировалась голубыми линзами, песок как толща зелено-желто-голубого цвета, супесь как песок с включениями синего цвета суглинок – прослойками красного цвета, а уровень грунтовых вод – слоем сине-красного цвета.

По результатам обследований получены следующие выводы:

1. Сопоставление данных бурения и георадарной съемки показало достаточно высокую степень идентичности по геологическому разделению, а разница в определении глубин заложения горизонтов в трех контрольных скважинах, пробуренных до 2,5 м, изменялась в пределах от 0 до 8 см (табл. 2). При этом максимальная ошибка, составившая 8 см, была зафиксирована только в одном случае, что можно объяснить допущенной погрешностью определения заложения геологического пласта при ручном бурении.

Таблица 2

№ скважины	Слой геологического разреза	Глубина заложения от поверхности покрытия, м, по результатам		Разность определения глубин заложения
		ручного бурения	зондирования георадаром	
1	Асфальтобетон и гравийно-песчаная смесь	0,00	0,00	-
	Песок пылеватый	0,19	0,20	0,01
	Суглинок легкий	1,10	1,02	0,08
	УГВ	1,55	1,50	0,05
2	Асфальтобетон и гравийно-щебеночная смесь	0,00	0,00	-
	Песок мелкий	0,22	0,24	0,02
	Песок пылеватый	0,85	0,90	0,05
	Суглинок пылеватый	1,20	1,22	0,02
	УГВ	1,15	1,15	0,00
3	Асфальтобетон и гравийно-песчаная смесь	0,00	0,00	-
	Песок пылеватый	0,18	0,22	0,04
	Суглинок легкий	1,80	1,85	0,05
	УГВ не зафиксирован	-	-	-

2. Антенной А4 не представляется возможным выявить толщину асфальтобетонного слоя, изменяющуюся в пределах 4-8 см. При большой вариации толщины конструктивных слоев были установлены следующие средние размеры: толщина песчано-гравийной смеси 10-20 см; нижний слой основания из песка пылеватого или заиленного зернистого 50-70 см. Средняя высота насыпи составила 1,0-1,2 м, а глубина залегания уровня грунтовых вод (верховодка) более 0,7 м, но менее 1,0 м от поверхности покрытия.

3. На 15-25% участков были зафиксированы строительные и эксплуатационные ошибки (толщина песчаного основания менее 0,5 м или песчаный слой вообще отсутствует, высота насыпи меньше

1 м, толщина верхнего слоя основания из песчано-гравийной смеси менее 10 см, грунтовые воды зафиксированы на глубине менее 0,7 м от поверхности покрытия).

4. Только 3% обследуемых участков удовлетворяют всем нормативным проектным, строительным и эксплуатационным требованиям.

5. На поперечных разрезах выявлены нарушения проектного положения поверхностей: под проезжей частью под действием динамических нагрузок произошла просадка подстилающего суглинистого грунта и образовалось корыто, в котором «застраивается» вода.

6. Установлено, что на 97% обследуемых участков необходимо вначале обеспечить водоотвод из активной зоны земляного полотна (поперечные дренажные прорези) и поверхностный водоотвод (водоотводные и боковые канавы, а также дренажи глубокого заложения), а потом приступать к усилению дорожной одежды. Лишь на 3% обследуемых участков достаточно выполнить усиление дорожной одежды без осушения грунтов земляного полотна.

7. На участках автомобильных дорог с застаивающимися поверхностными водами в кюветах и резервах просматриваются пласты сползающих слоев под неукрепленными обочинами, поперечный уклон которых достигает 20%.

В ходе обследований были получены удовлетворительные результаты по эффективности применения георадаров и выявлены направления дальнейших исследований:

1. Необходимо получить помимо волнового изображения количественные показатели прохождения сигнала в той или другой среде, что позволит в дальнейшем достовернее интерпретировать результаты зондирования. С этой целью рационально промоделировать и построить тарировочные кривые прохождения сигнала в разных грунтовых средах и при их различной влажности.

2. Результаты георадарного «рентгена» можно сопоставить с данными обследований автомобильных дорог (например, ровностью, модулем упругости на поверхности конструкции и др.) на одних и тех же участках, что предоставит возможность дать полные и точные рекомендации по выполнению ремонтных работ.

3. Необходима разработка технических условий по обследованию участков автомобильных дорог с использованием георадаров.

4. Результаты обследований целесообразно сводить к построению пространственной картинки, на которой можно увидеть расположение подошвы слоев дорожной одежды и подстилающих грунтов, а также прогнозируемого положения расчетного уровня грунтовых вод в пределах полосы отвода автомобильной дороги. Такая картинка позволит правильно назначить виды ремонтных работ и реконструкции существующих автомобильных дорог.

5. Для полноты информации о состоянии эксплуатируемых автомобильных дорог эффективно комплексное использование геофизических методов (сейсморазведки, электроразведки и т.д.), которые позволят изучить достаточно глубокие горизонты (до 100 м), так как, по данным геофизиков, все приповерхностные нарушения непосредственно связаны с глубиной.

6. На участках, неблагоприятных по грунтово-гидрогеологическим условиям, целесообразно проводить постоянные мониторинговые наблюдения.

Применение георадаров при обследовании автомобильных дорог экономически эффективно, так как точный «рентген» внутреннего строения дорожных конструкций позволит вкладывать ограниченные инвестиции в необходимые виды ремонтных работ [10].

Экспериментальные обследования автомобильных дорог с использованием георадаров выполняются также в Новосибирской, Саратовской, Московской, Нижегородской областях и других регионах. Однако до сих пор не разработана единая методика выполнения работ, более того, технология расшифровки результатов измерений требует накопления большого опыта и научно-технического обоснования.

5. ТЕХНОЛОГИИ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОРАДАРОВ В ДОРОЖНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

В зависимости от решаемой задачи применение георадаров выполняется по различным технологиям: обследование

существующих автомобильных дорог, грунтово-гидрогеологические изыскания для проложения трасс автомобильных дорог, разведка карьеров дорожно-строительных материалов и т.д.

5.1. Технология обследования эксплуатируемых автомобильных дорог

Данная технология определяется как целями и задачами обследований, так и конструкцией георадара, используемым транспортным средством, количеством применяемых одновременно антенн, интенсивностью движения по существующей дороге, состоянием покрытия и шириной проезжей части. В зависимости от перечисленного используются разные методики проведения обследований.

Целью обследования могут быть:

- проверка толщины конструктивных слоев дорожной одежды и толщины слоев грунта земляного полотна, однородности используемого грунта как при приемке выполненных работ, так и при эксплуатации дорог для оценки состояния дорожной конструкции и назначения ремонтных мероприятий;
- оценка устойчивости грунта земляного полотна на участках слабых и переувлажненных грунтов в процессе эксплуатации автомобильной дороги;
- определение глубины заложения уровня грунтовых вод для оценки эффективности работы дренирующих устройств;
- мониторинговые наблюдения за распределением глубины промерзания грунтов и изменением уровня грунтовых вод в процессе эксплуатации автомобильной дороги и многие другие.

Самым распространенным является первое направление обследований. В зависимости от конструкции георадара и типа антенн различают следующее их назначение:

- рупорный георадар – используется для определения толщины покрытия дорожной одежды;
- грунтовый георадар – для определения толщины конструктивных слоев дорожной одежды и слоев грунтов земляного полотна и подстилающего основания;

- при совместном и одновременном использовании рупорного и грунтового георадара устанавливаются толщины как покрытия, так и слоев дорожной одежды, земляного полотна и подстилающего основания, и при этом существенно повышается точность определения толщины слоев.

В зависимости от используемого транспортного средства определяются производительность и вид работ. Так, при применении автомобиля или другого быстроходного транспортного средства георадарные обследования проводятся в продольном направлении, по одной или двум полосам движения. Количество обследуемых полос назначается заказчиком, так как число полос зависит от выделяемых финансовых средств на обследование. Оптимальным вариантом является использование прицепа с 3-4 антеннами, полностью перекрывающими полосу движения, так как это позволяет получить геологический разрез как в продольном, так и в поперечном направлении. При перемещении георадара ручной транспортировкой обследования проводятся преимущественно одной антенной или двумя (применяемыми попеременно, но отличающимися по частоте и возможностям) на небольших по протяженности участках дорог (1-15 км). При этом измерения на участках автомобильных дорог, имеющих плохое состояние покрытия, проводятся не только в продольном, но и в поперечном направлении (от одной бровки земляного полотна до другой). При выполнении измерений в поперечном направлении отпадает необходимость проводить измерения в обоих направлениях по двум полосам движения.

Низкая интенсивность движения автомобилей на дороге не отразится на технологии выполняемых работ. При большой интенсивности движения (более 2000-3000 авт./сут) выполнение обследований путем перемещения георадара ручной транспортировкой становится практически невозможным, так как это повлечет за собой перекрытие или ограничение движения транспортных средств. В таком случае работы необходимо проводить в ночное время, когда интенсивность движения достигает минимального значения. При обследовании с использованием

автомобилей даже высокая интенсивность движения как-нибудь существенно не повлияет на технологию выполнения работ.

Плохое состояние покрытия или чередование плохого с хорошим потребуют существенного снижения скорости транспортных средств и могут отрицательно повлиять на результаты обследований. Поэтому при плохом состоянии покрытия целесообразно перемещать георадар по поверхности покрытия буксировкой вручную.

На автомобильных дорогах II-IV категорий (две полосы движения), как правило, при наличии транспортного средства замеры производятся непрерывно, сначала в прямом направлении по одной полосе движения, а потом в обратном направлении по другой полосе движения. На автомобильных дорогах I категории чаще всего измерения выполняются по одной центральной полосе в одном направлении и также по одной центральной полосе в обратном направлении. При этом целесообразно снять разрез в поперечном направлении с шагом 20-500 м в зависимости от состояния автомобильной дороги.

При выполнении обследований с ручной транспортировкой георадара ГП НИИприборостроения им. В.В. Тихомирова и ООО «ЛОГИС» используются несколько режимов измерений: работа по шагам, непрерывно, непрерывно с модификацией, обнаружения и по смещению.

«Работа по шагам» используется при выполнении обследований и заранее отмеченных точках поверхности, передвижение георадара осуществляется от точки к точке, в каждой из них производится измерение. Такой режим можно использовать при обследовании автомобильных дорог как в продольном, так и поперечном направлении.

Режим «непрерывно» предусматривает зондирование в автоматическом режиме при равномерном перемещении антенны по поверхности. По достижении набора заданного количества сигналов их прием заканчивается. Такой режим можно рекомендовать при обследовании автомобильных дорог в поперечном направлении или записи короткими отрезками через

интервалы в продольном направлении (например, отрезок 10-15 м через интервал 5-100 м).

«Модифицированный режим непрерывно» предполагает производить зондирование в автоматическом режиме при равномерном перемещении антенны по поверхности, но после получения заданного количества сигналов их прием продолжается, и на графическом изображении сигнала самые поздние сигналы заменяются на новые. Такой режим может быть применен на стадии предварительного зондирования в целях установления оптимальных параметров прибора и выбора последующей технологии работ в зависимости от состояния обследуемого объекта.

Режим «обнаружение» наиболее целесообразен при поиске объектов (трубы, кабеля и т.д.) в автоматическом режиме. В этом случае при обнаружении объекта раздается звуковой сигнал.

Режим «по смещению» предусматривает зондирование в автоматическом режиме при равномерном перемещении антенного блока по поверхности. Расстояние между реализациями отсчитывается автоматически с помощью дополнительного колеса. По достижении заданного количества реализаций прием сигналов прекращается.

Безусловно, метод непрерывного обследования дорог с использованием автомобильного транспорта самый производительный и к внедрению может быть рекомендована, например, финская технология обследования автомобильных дорог, изложенная в подразделе 4.3.

5.2. Технология изысканий грунтово-гидрогеологических условий местности при выборе трасс автомобильных дорог

Технология изысканий грунтово-гидрогеологических условий полосы варьирования трассы автомобильных дорог с помощью георадаров разработана на кафедре автомобильных дорог Архангельского государственного технического университета. [2, 25, 26]

Суть технологии работ состоит в следующем. Сначала в камеральных условиях по топографической карте в зависимости от рельефа местности и ситуации определяются границы полосы варьирования трассы, координаты которых с помощью сканера

заносятся в память ПЭВМ; вся полоса варьирования по топографическим картам и дешифрированию материалов аэросъемок разбивается на зоны с различными грунтово-гидрогеологическими условиями (например, болотистые, оползневые, закарстованные и просадочные грунты, участки с обеспеченными и необеспеченными поверхностными стоками и т.д.). Координаты границ зон с различными грунтово-гидрогеологическими условиями также с помощью сканера заносятся в память ПЭВМ. В каждой зоне устанавливают расстояния между маршрутами движения вездехода, по которым определяется грунтово-гидрогеологический разрез. Изыскания не производятся на участках местности, прилегающих к начальной и конечной точкам трассы и образующихся границей полосы варьирования и прямыми, направленными под углами а=35-55° к воздушной линии. Задается начальное направление движения вездехода в зависимости от рельефа и ситуации, например, под углом 45° вправо от направления воздушной линии между начальной и конечной точками трассы.

Вездеход с георадаром движется по начальному направлению к правой границе полосы варьирования трассы, при этом пересекая по возможности самые высокие и низкие места рельефа, обходя встречающиеся ситуационные препятствия (деревья, постройки и т.д.). По маршруту движения вездехода на экране дисплея просматриваются и записываются на магнитные носители геологический разрез местности и положение уровня грунтовых вод. При движении вездехода его положение в декартовой системе координат определяется, например, по установленному на вездеходе маршрутному Р-кодовому приемнику ASHTECH P-12. Маршрут вездехода заносится на магнитные носители с помощью спутниковых систем GPS. В России такими возможностями обладает спутниковая навигационная система ГЛОНАСС.

Приемник ASHTECH P-12 определяет геодезические координаты с точностью ±5 мм и обладает значительной устойчивостью к помехам. Потребляемая приемником мощность не превышает 12 Вт, питание осуществляется от сети постоянного тока напряжением 10-36 В. Помимо использования маршрутного

Р-кодового приемника, в середине полосы варьирования трассы устанавливается базовая станция. Место установки базовой станции должно представлять собой открытую площадку, на которой местные предметы должны возвышаться над горизонтом не более чем под углом 15°, и радиопомехи должны отсутствовать. За неимением дорогостоящего оборудования к спутниковым системам можно воспользоваться более грубыми высотомерами-автоматами типа ВА-1М или ВА-56 и топопривязчиками, что существенно повышает трудоемкость и снижает точность работ.

При достижении правой границы полосы варьирования трассы вездеход проходит вдоль границы параллельно воздушной линии, связывающей начальный и конечный пункты трассы.

Далее маршрут движения вездехода выполняется через экстремальные точки рельефа в обход ситуационных препятствий к левой границе полосы варьирования трассы с учетом принятого расстояния между грунтово-гидрогеологическими разрезами. Вездеход может осуществлять движение по интересующим участкам местности с возможностью маневрирования. При этом ПЭВМ по программе контролирует переход из одной зоны грунтово-гидрогеологических условий в другую. Достигнув левой границы полосы варьирования, вездеход проходит параллельно воздушной линии и вновь направляется к правой границе полосы варьирования и так далее до выхода в конечную точку трассы.

Перед началом, в процессе или после завершения изыскательских работ выполняются буровые работы (на 5% опорных точек), по которым сопоставляется волновое изображение геологического разреза, полученного георадаром, с характеристиками грунтов.

На основе исходной информации, зафиксированной по результатам измерений георадаром, может быть получена интегральная пространственная модель рельефа, геологии и гидрогеологии местности в полосе варьирования трассы. По данной модели может быть проложен лучший вариант трассы с учетом рельефа, геологического строения и положения грунтовых вод.

5.3. Разведка карьеров дорожно-строительных материалов

Технология поиска и разработки карьеров во многом зависит от фронта работ. Вследствие того, что георадарные методы являются неразрушаемыми и экологичными, фронт работ можно определить путем проведения предварительной рекогносцировки, цель которой – определение границ залегания тех или иных строительных материалов, а значит границ самого карьера.

После рекогносцировки выявляются наиболее характерные точки и прокладывается магистральный ход (желательно параллельно одной из границ карьера или в продольном направлении по линии наибольшей протяженности).

Число магистральных проходов назначается в зависимости от размеров карьера дорожно-строительных материалов. Далее осуществляется проход георадара в поперечном направлении с интервалом 20 м и более. Расстояние между точками на поперечниках следует принимать, исходя из того, какая точность измерений необходима в каждом конкретном случае, а также с учетом размеров карьера.

Работы могут выполняться в сухую погоду при любой влажности и температуре воздуха в пределах от -30°С до +40°С. Состав отряда: 2-3 человека (в зависимости от размеров карьера и наличия спецтранспорта): оператор, помощник, водитель.

Требуемые ресурсы: комплект георадарного оборудования (антенны, блок управления, блок питания, кабели, ноутбук, регистрирующее колесо).

Из документов, необходимых для выезда в поле, требуются разрешение на производство георадарных работ и план разбивки магистральных ходов и поперечников с нумерацией проходов.

Технология изысканий включает следующие пункты:

рекогносцировка (в режиме «смещение по шагам»);

проложение магистрального хода;

разбивка поперечников (возможна маркировка);

осуществление привязки;

выполнение измерений;

контрольное бурение в нескольких точках;

компоновка и обработка данных измерений;

создание 3D – карты карьера.

После выполнения георадарных работ представляются следующие документы: файлы данных георадарных измерений, материалы обработки георадарных данных для паспорта карьера, заключение о степени разведанности месторождения и изученности качеств материалов, а также вывод о горнотехнических условиях разработки.

В процессе обработки результатов измерений осуществляется объединение данных измерений в единый файл и создание пространственной модели карьера.

Обработка георадарных данных зависит от программного обеспечения и умения оператора. Результатом служит 3D– карта, которая может быть оценена посредством просмотра из любой точки поперечников и напластований слоев строительных материалов.

Таким образом, использование георадара исключает необходимость устройства скважин и погрешности, связанные с неверным толкованием результатов их исследования, а также сделанных на основе этих результатов ошибочных выводов. Кроме того, можно с точностью определить объемы вскрышных работ для любого участка карьера, наметить характерные точки для последующего бурения, зондирования, устройства шурфов для отбора образцов с целью определения свойств и характеристик дорожно-строительных материалов.

Георадарный метод является наиболее рациональным при поиске притрассовых карьеров по сравнению с другими методами, так как его применение не ограничивает деятельность других исследователей (геодезических и геологических партий). Обработка георадарных данных позволяет в конечном итоге оформить план карьера и его профиль в виде 3D – карты, на которой могут быть указаны точные глубины залегания материалов, мощность слоев и координаты.

Кулижников А.М., Шабашева М.А. Использование георадаров в дорожной отрасли Финляндии (по материалам семинара в Рованиеми) // Наука и техника в дор. отрасли. – 2000. – № 2. – С. 29-31.

Извлечение

3. Для определения толщины асфальтобетонных покрытий и оценки качества их устройства [3]. Такие работы были начаты в Финляндии в 1995 г. При выполнении работ использовались рупорные георадары с антенной, имеющей частоту 1000 МГц.

За основу определения качества уплотнения асфальтобетонных покрытий принимается оценка диэлектрического показателя покрытия, так как он является функцией соотношения диэлектрических характеристик компонентов. Так, объемная диэлектрическая характеристика воздуха равна 1; битума – 2,6-2,8; минерального заполнителя 5,5-6,5. Качественное уплотнение асфальтобетона уменьшает долю воздушных пузырьков с низкими диэлектрическими показателями в асфальтобетоне, но увеличивает объемную долю битума и заполнителя, что приводит к повышению диэлектрических свойств асфальтобетона. Лабораторные тесты и полевые испытания асфальтобетонов были проведены в период 1994-1995 гг. в Техасе (Техасский транспортный институт) и в 1995-1997 гг. в Финляндии (Finnra).

Георадарная установка при скорости ее транспортировки 50-70 км/ч позволяет быстро измерять толщину покрытия и содержание пустот в нем. Для контроля результатов измерений достаточно пробурить 1-2 скважины. Измерения с использованием георадаров дают возможность одновременно получить также непрерывную информацию о толщине и качестве оснований под покрытие. Результаты измерений могут быть представлены в виде таблиц, профилей или карт на базе ГИС.

По получению результатов измерений подрядчик может быть немедленно извещен о полученных характеристиках и отклонениях от нормативных показателей, в результате чего он оперативно сможет принять меры по устранению зафиксированных дефектов.

4. Для изысканий грунтово-гидрологических условий местности. Такие работы в Финляндии осуществлялись в середине и конце 80-х годов: летом – с использованием ручной транспортировки и вездехода, в зимний период в качестве транспортного средства применялся вездеход или снегоход. В транспортных средствах оператор в кабине следил за результатами измерений.

При выполнении изысканий в трудных условиях при ручной транспортировке георадара численность персонала составляет 3 чел., производительность работ 0,3-1 км/ч или 1-3 км за смену. При нормальных условиях и использовании вездехода достаточно 2 чел, при этом производительность работ – 1-3 км/ч или 3-10 км за смену.

С учетом высокого уровня развитости сети дорог в настоящее время в Финляндии изыскания новых дорог практически не выполняются, а преобладает ремонт и реконструкция существующих.

Анализ существующего опыта применения георадаров в дорожном хозяйстве Финляндии показывает, что данное оборудование на основе высокой производительности, достаточной точности и экологической чистоты доказало свою эффективность. Например, в Финляндии после обследования дорог затраты на ремонтные работы сокращаются как минимум на 25% и при этом значительно повышается эксплуатационная надежность автомобильных дорог.

Лушников Н.А., Лаврухин С.В. Метод радиолокационного контроля состояния дорожных одежд и земляного полотна // Труды ГП РОСДОРНИИ. – М. – 1998. – Вып. 9. – С. 101-104.

В данной статье изложены основополагающие принципы использования георадиолокации в дорожной отрасли. Намечены пути оптимизации решения необходимых задач. На основе полученных результатов сделаны выводы относительно возможностей описанного метода.

Проведено сравнение задач георадиолокации в различных областях использования. Приведена схема прибора и необходимый алгоритм действий, исходя из возможностей метода на данный момент времени. Представлены вниманию рисунки, на которых изображены результаты обработки сигналов на одном из опытных участков.

Извлечение

Для отработки методики проведения измерений и интерпретации результатов в лаборатории средств диагностики РОСДОРНИИ совместно со специалистами других фирм был разработан и изготовлен специализированный геолокатор. Этот геолокатор создан на основе российских разработок последних лет в области геофизики и радиолокации. Он работает на средней для георадаров частоте – 800 МГц и позволяет исследовать участки автомобильных дорог на глубину от 0,5 до 6 м. Схема прибора представлена на рис. 1.

Радар состоит из двух антенн: передающей и приемной, которые идентичны по конструкции и являются широкополосными щелевыми антеннами. Позади антенн располагается датчик пути. Зондирующий сигнал формируется при ударном возбуждении передающей антенны перепадом напряжения и имеет форму трех-четырех полупериодов колебаний. Эти сигналы отражаются от границ слоев или локальных неоднородностей, имеющих различные электрические свойства. На выходе приемной антенны производится стробоскопическое преобразование принятых сигналов, которые затем фильтруются, преобразуются в двоичный 10-ти разрядный код и записываются в память ЭВМ.

Для испытания прибора было проведено исследование ряда участков на предмет их однородности и слоистости, а также определена граница УГВ. Ниже изображены последовательно три этапа обработки сигналов, записанных на одном из опытных участков дороги. Полученные изображения (1 шаг – 1 метр) позволяют выделить зоны, различающиеся по структуре, рис. 2.

На примерах результатов обработки сигналов, представленных на рис. 2, заметны границы между слоями земляного полотна. В некоторых случаях практики, например, при значительной толщине дорожной одежды, видна граница между дорожной одеждой и земляным полотном.

Однако в настоящее время точное определение с помощью геолокатора глубины залегания границ слоев и уровня грунтовых вод, а также неоднородностей затруднено. Для получения подобных данных требуются сведения о диэлектрической проницаемости материалов, слагающих дорогу. Диэлектрическая проницаемость этих материалов зависит как от их состава, так и от влажности. Поэтому на первом этапе исследований с целью получения недостающей информации необходимо периодически бурить дорожную одежду.

Следует ожидать, что обследование дорог с помощью геолокаторов в первую очередь позволит выявлять аномальные участки, различающиеся между собой по электрофизическим свойствам. При этом обследование целесообразно проводить по следующей схеме: перед измерениями необходимо выполнить бурение дорожной одежды и определить ее конструкцию, ввести параметры этой конструкции в компьютер геолокатора и затем произвести измерение на исследуемом участке дороги с помощью локатора, предварительно «привязав» его показания к реальным условиям. Локатор будет регистрировать изменения конструкции дорожной одежды на обследуемом участке автомобильной дороги. В местах, отличающихся по своей структуре от заданной конструкции, необходимо произвести контрольные бурения. Первые полученные результаты дали подтверждение правильности такого подхода и возможность сформулировать основные концептуальные положения применения георадара в дорожной отрасли.

Во-первых, следует ожидать, что использование этого прибора позволит выявлять неоднородности в теле земляного полотна и дорожной одежде.

Во-вторых, при исследовании каждого конкретного объекта потребуется индивидуальная настройка прибора на существующую конструкцию дорожной одежды.

В-третьих, применение геолокатора значительно облегчит поиск неоднородностей, ослабленных зон дорожных конструкций и т.п., но, вероятно, не исключит применения разрушающих методов контроля.

В дальнейшем предполагается собрать сведения о электрофизических свойствах дорожно-строительных материалов. Эту работу можно выполнить двумя путями – с помощью лабораторных исследований с применением специальной аппаратуры или непосредственно на дороге. Второй путь позволяет получать менее достоверную информацию, однако представляется наиболее целесообразным, поскольку не требует уникальной аппаратуры и доступен для получения данных прямо на дороге. Однако при этом необходимо периодически делать отборы проб грунта и дорожной одежды.

Итогом данного этапа исследований должна быть разработка методики неразрушающего контроля состояния земляного полотна и дренирующих слоев дорожной одежды, а также получение корреляции между получаемыми результатами и физико-механическими характеристиками (в основном, прочностью) дорожной одежды. Это позволит использовать получаемые результаты в расчетах для назначения ремонтных мероприятий. При этом, поскольку процесс измерений геолокатором непрерывен, на основе полученных данных можно будет назначать ремонтные мероприятия только на тех участках дороги, где они действительно требуются.

Макеечева И.В. Дорожный рентген. Георадиолокационные исследования при дорожном строительстве и диагностике состояния дорог // Строит. техника и технологии. – 2001. – № 5. – С. 38-39.

Извлечение

Одной из основных задач дорожного строительства является развитие сети автомобильных дорог, особенно в периферийных

районах. При этом возникает вопрос: как оптимально проложить трассу, чтобы она не только вписалась в рельеф местности, но и была «согласована» с геологией.

Другой не менее важной задачей является сохранение существующей сети автодорог, улучшение их транспортно-эксплуатационных характеристик в условиях роста интенсивности движения.

Качество любого проекта в большой степени зависит от полноты и объективности исходных данных: пространственной модели рельефа, геологии и гидрогеологии.

Все вышеперечисленные задачи можно решать при помощи георадиолокации – наиболее перспективного экспресс-метода неразрушающего контроля.

Метод георадиолокационного подповерхностного зондирования (в общепринятой терминологии – георадиолокация) основан на изучении распространения в среде электромагнитных волн. Идея метода – в регистрации сигналов, полученных при отражении импульсов электромагнитных волн от границ раздела слоев зондируемой среды. Такими границами раздела являются, например, контакты между сухими и влагонасыщенными грунтами, между породой и материалом искусственного сооружения, между коренными и рыхлыми породами и т.д. Все задачи, решаемые георадиолокацией, могут быть разделены на две большие группы с характерными для каждой методиками исследований, способами обработки, типами отображения объектов исследования и представления результатов. Первая группа включает в себя геологические, гидрогеологические и инженерно-геологические задачи. Вторая – поиск локальных объектов, обследование инженерных сооружений и т.д.

В настоящее время георадиолокация широко применяется в исследованиях при относительно небольшой глубине залегания целевых объектов – 0,2-15 м.

Инструментом для георадиолокации служит георадар – цифровой, портативный, носимый одним оператором геофизический прибор, предназначенный для решения широкого спектра геотехнических, геологических, инженерных и других

задач, где есть необходимость оперативного мониторинга среды, получения разрезов грунта, не требующих бурения или раскопок. Во время зондирования оператор в реальном времени получает на дисплее информацию в виде радиолокационного профиля (называемого радарограммой) с одновременной записью данных в память компьютера для дальнейшего их применения.

Набор сменных антенных модулей обеспечивает возможность зондирования в большом диапазоне частот (16-2000 МГц). Применение той или иной антенной системы определяется задачей, решаемой при зондировании.

Данная технология, в отличие от бурения, позволяет обследовать изучаемую территорию не «точечно», а непрерывно, не нарушая целостности поверхности земли или дорожного покрытия.

Георадар позволяет создать непрерывную картину о количестве и толщине слоев дорожных покрытий и оснований, границе зоны увлажнения дорожной одежды и земляного полотна, зон разуплотнения или неоднородных включений в грунте, а также выявлять брак, допущенный в процессе дорожных работ, и другие отклонения, являющиеся основными причинами последующих разрушений дорожного полотна. При этом применяют антенны, сконструированные специально для дорожных исследований, которые обеспечивают детальность измерений по профилю (единицы дециметров) при глубине до 1,5-2 м (и все это при перемещении со скоростью до 80 км/ч!).

Современные георадары сконструированы для работы в труднодоступных районах с неблагоприятным климатом и могут применяться в любое время года (рабочая температура георадара составляет -20 – +40°С.

В России и особенно за рубежом накоплен большой опыт проведения подобных исследований, который позволил выработать основные положения методики работ, обработки и интерпретации получаемых данных.

Безусловно, технология инженерно-геологических изысканий автомобильных дорог с использованием георадаров наиболее перспективна и будет непрерывно совершенствоваться на базе

накапливаемого практического опыта и использования новейших модификаций георадарного оборудования.

Неразрушающие испытания конструкций с большой производительностью дорожного покрытия автодорог и аэропортов EURADAR: [Проспект] / Auscult SARL. – Б.г. – 2 с.

Извлечение

EURADAR и/или RAMAC 800 МГц – это радары, которые превосходно соответствуют требованиям как к установлению толщины отдельных слоев дорожного покрытия, так и к определению структурных аномалий: неоднородности, наличия стали, нарушения соединения между слоями асфальта, зоны влажности, каверн в дорожных покрытиях на глубине максимально 0,8 м.

RAMAC 250 МГц и RAMAC 100 МГц используются для детектирования и локализации подземной проводки и каверн на большой глубине, до нескольких метров.

Результаты совместного визуального и радарного наблюдения за состоянием покрытия и земляного полотна / В.А. Кретов, В.Ю. Глазков, Н.А. Лушников, С.В. Лаврухин // Труды ГП РОСДОРНИИ. – 2000. – Вып. 10. – С. 93-96.

Извлечение

Исследование полученных результатов показало, что скорость образования трещин в асфальтобетонных покрытиях, их количество и тип в значительной мере зависят от вида аномалий в теле земляного полотна (неоднородность по составу, переувлажнение, различная степень плотности грунта, взаимное расположение слоев и т.д.). В случаях, когда наблюдалось излишнее увлажнение, трещинообразование носило особенно интенсивный характер, при

этом появлялись дополнительные криволинейные продольные и поперечные трещины, размеры которых увеличивались (длина и ширина раскрытия). В местах значительного переувлажнения земляного полотна (участок на открытой местности) наблюдались все типы трещин, но при этом отмечалось меньшее количество поперечных и преобладание криволинейных продольных. На таких участках покрытия величина раскрытия трещин местами достигала 1-5 см, это при средней наблюдаемой величине около 0,8 см.

Одним из наиболее интересных результатов данной работы явилась возможность прогнозирования трещинообразований, поскольку появление трещин происходило там, где заранее были выявлены неоднородность грунта, его переувлажнение и другие аномалии. На рис. 2 показаны фрагменты радарограмм, на которых видны обнаруженные дефекты и схематично показаны трещины, как существовавшие, так и появившиеся впоследствии.

Сопоставление результатов визуального наблюдения и полученных радарограмм позволяет сделать вывод о высокой точности прогнозирования трещинообразования как по местоположению дефектов, так и по возможному виду разрушений. Предполагается, что на основании проводимых исследований и сделанных выводов радарная система в дальнейшем позволит с максимальной эффективностью производить проектирование ремонтных мероприятий. Применение же георадарных установок при приемке работ по устройству земляного полотна предотвратит досрочное разрушение дорожных одежд и увеличит срок службы автомобильных дорог в целом.

Для решения вышеперечисленных задач предполагается в ближайшее время проведение более обширных исследований и наблюдений на нескольких дорогах, расположенных в различных грунтово-гидрологических условиях и отличающихся условиями эксплуатации.

Шапиро Д.М., Жариков А.А. Обследование мостовых опор методом радиоволновой диагностики // Наука и техника в дор. отрасли. – 2001. – № 2. – С. 23-24.

Извлечение

Тульское предприятие ООО «Геопроект» разработало и реализует технологию геофизического обследования подземной части объектов строительства. Геофизические изыскания выполняются методом радиоволновой диагностики, основанной на принципе бесконтактного поляризационного геометрического зондирования с дневной поверхности. Технология проведения работ позволяет определять физические характеристики до глубины 25-30 м и оконтуривать отражающие и экранирующие подземные объекты.

Для выполнения обследований используется поляризационная дипольная установка «Навигатор», оснащенная двумя видами антенн: стелющимися антеннами, предназначенными для радиоволновой дефектоскопии природных и искусственных сред; антеннами, осуществляющими радиозондирование подземного пространства с дневной поверхности. Значения выходных параметров рассчитываются на ЭВМ по программе, реализующей специально разработанный алгоритм.

Пат. 2109872 RU, МКИ[6] E01 C 1/00, G01 C 7/04. Кулижников А.М., Метла Т.А. Способ инженерных грунтово-гидрологических изысканий автомобильных дорог / Архангельский гос. техн. ун-т. – № 96106714/03; Заявл. 02.04.1996; Опубл. 27.04.1998, Бюл. № 12.

Извлечение

Изобретение относится к дорожному строительству и предназначено для проведения инженерных грунтово-гидрологических изысканий автомобильных дорог в широкой

полосе варьирования трассы под системное автоматизированное проектирование автомобильных дорог.

Задача изобретения – повышение качества сбора информации по грунтово-гидрологическим условиям местности и снижение трудозатрат на подготовительные работы.

Это достигается тем, что согласно способу инженерных грунтово-гидрологических изысканий автомобильных дорог, включающему определение в камеральных условиях границы полосы варьирования трассы и маршрута движения вездехода, разбивку маршрута и сбор информации по грунтово-гидрологическим условиям местности при прохождении вездехода со станцией, всю полосы варьирования разбивают на зоны с различными грунтово-гидрологическими условиями, в каждой зоне задают минимальное a и максимальное b расстояния между точками определения грунтово-гидрологического разреза, задают начальное направление движения под углом 35-55° вправо или влево по направлению воздушной линии, а сбор информации по грунтово-гидрологическим условиям местности выполняют при прохождении вездехода со станцией. Вездеход со станцией С-023 движется по начальному направлению, обходя деревья и другие препятствия, к границе полосы варьирования с фиксацией маршрута с помощью спутниковой системы GPS по установленному на вездеходе Р-кодовому приемнику ASHTECH P-12; у границы полосы варьирования вездеход проходит на расстояние (a+b)/2 параллельно воздушной линии, связывающей конечные точки трассы, далее маршрут движения вездехода в обход деревьев и других препятствий выполняют по направлению к другой границе полосы варьирования трассы и определяют программой на ПЭВМ в виде коридора, границы которого находятся: ближняя на расстоянии a, дальняя на расстоянии b от траектории предыдущего маршрута, при этом при переходе из одной зоны грунтово-гидрологических условий в другую расстояния a и b соответственно изменяют, аналогичным образом производят движение вездехода по всей полосе варьирования трассы.

На чертеже приведена схема маршрута движения вездехода со станцией С-023.

Способ грунтово-гидрологических изысканий автомобильных дорог осуществляют следующим образом.

Сначала в камеральных условиях по топографической карте в зависимости от рельефа местности и ситуации определяют границы полосы варьирования трассы, координаты которых с помощью сканера заносят в память ПЭВМ; всю полосу варьирования по топографическим картам и дешифрированию материалов аэросъемок разбивают на зоны, например, 1-3, с различными грунтово-гидрологическими условиями (например, болотистые, оползневые, карстовые и посадочные участки, участки с обеспеченными и необеспеченными поверхностными стоками и т.д.). Координаты границ зон с различными грунтово-гидрологическими условиями, границы выделены точками, также с помощью сканера заносят в память ПЭВМ. В каждой зоне устанавливают минимальное a и максимальное b расстояние между точками определения грунтово-гидрологического разреза. Примеры таких расстояний приведены в таблице для трех категорий сложности грунтов. Из рассмотрения и последующих изысканий отбрасывают участки местности 4, прилегающие к начальной и конечной точкам трассы и образующиеся границей полосы варьирования и прямыми, направленными под углами 35-55°к воздушной линии. Задают начальное направление движения вездехода в зависимости от рельефа и ситуации, например под углом 45° вправо к направлению воздушной линии между начальное и конечной точками трассы.

Вездеход со станцией С-023 (или георадаром фирмы Finn RA) движется по начальному направлению к правой границе полосы варьирования трасы, обходя при этом встречающиеся деревья и другие препятствия. По маршруту движения вездехода на экране дисплея просматривается и записывается на магнитные носители геологический разрез местности, на котором фиксируется положение уровня грунтовых вод. При движении вездехода его положение в декартовой системе координат определяется и записывается на магнитные носители с помощью спутниковой системы GPS по установленному на вездеходе Р-кодовому приемнику ASHTECH P-12, который определяет геодезические

координаты с точностью выше 5 мм и обладает значительной помехоустойчивостью. Потребляемая мощность приемником менее 12 Вт, питание осуществляется от сети постоянного тока 10-36 В.

При достижении правой границы полосы варьирования трассы вездеход проходит на расстояние (a+b)/2 параллельно воздушной линии, связывающей начальный и конечный пункт трассы.

Далее маршрут движения вездехода выполняют в обход деревьев к левой границе полосы варьирования трассы по коридору (границы коридора выделены пунктирными линиями), определяемому программой на ПЭВМ. Причем границы коридора находятся: ближняя на расстоянии a, а дальняя на расстоянии b от траектории предыдущего маршрута вездехода. Вездеход в пределах коридора может осуществлять движение по требуемым участкам местности с возможностью маневрирования. При этом ПЭВМ по программе контролирует переход из одной зоны грунтово-гидрологических условий в другую, в результате чего соответственно изменяются расстояния a и b. Достигнув левой границы полосы варьирования, вездеход проходит параллельно воздушной линии на расстояние (a+b)/2 и вновь направляется по новому коридору к правой границе полосы варьирования и так далее до выхода в конечную точку трассы.

Качество сбора информации по грунтово-гидрологическим условиям местности повышается, так как маршрут движения вездехода будет гибким, в обход участков, не требующих определения грунтово-гидрологических условий местности, и с обязательным прохождением участков со сложными грунтово-гидрологическими условиями.

Трудозатраты на подготовительные работы снизятся, так как не потребуется установка в точках поворота вездехода ориентиров, не будет выполняться разбивка и прорубка трассы по маршруту движения вездехода. Расчеты для трассы автомобильной дороги протяженностью 10 км показали, что предлагаемый способ инженерных грунтово-гидрологических изысканий автомобильных дорог позволяет на 250-320 человеко-смен уменьшить трудозатраты

на подготовительные работы в сравнении с известным способом инженерных грунтово-гидрологических изысканий, принятым за прототип.

Пат. 2170297 RU, МКИ' E 01 C 1/00, G 01 C 7/04. Канжина О.В., Кулижников А.М. Способ инженерных изысканий автомобильных дорог / Архангельск. гос. техн. ун-т. – № 99116757/03; Заявл. 30.07.1999; Опубл. 30.07.1999, Бюл.№ 19.

Извлечение

Изобретение относится к дорожному строительству и может быть использовано при проведении инженерных изысканий автомобильных дорог на стадии рабочей документации в полосе отвода автомобильной дороги. Способ включает продольное передвижение вездехода с георадаром и спутниковой системой позиционирования, осуществляющей определение пространственных координат и грунтово-гидрогеологическую информацию. Новым является то, что георадар последовательно перемещают по оси трассы и границам полосы отвода и осуществляют сбор исходной информации о рельефе в поперечном направлении только при прохождении по оси трассы, которую разбивают на отрезки, длину s которых определяют на криволинейных участках по приведенной зависимости от допускаемого отклонения от оси трассы и ширины полосы отвода, а на прямолинейных – в зависимости от расстояния видимости, при этом между двумя смежными поперечными проходами георадара выдерживают расстояние, равное расстоянию между двумя опорными точками t, которое определяют также по приведенной зависимости. Технический результат, обеспечиваемый изобретением, состоит в повышении надежности вычисления объемов земляных работ, избежании ошибок при проектировании продольного профиля на основе информации по пространственному

расположению уровня грунтовых вод по гидрогеологической модели местности.

Формула изобретения

Способ инженерных изысканий на стадии рабочей документации в полосе отвода автомобильных дорог, включающий продольное передвижение вездехода с георадаром и спутниковой системой позиционирования, осуществляющей определение пространственных координат и грунтово-гидрогеологической информации, отличающийся тем, что георадар последовательно перемещают по оси трассы и границам полосы отвода и осуществляют сбор исходной информации о рельефе в поперечном направлении только при прохождении по оси трассы, причем трассы разбивают на отрезки, длину s которых определяют на криволинейных участках в зависимости от допускаемого отклонения от оси трассы и ширины полосы отвода по формуле

$$s = (1 - 0{,}18 \cdot B + 0{,}1 \cdot R \cdot B)^{0{,}5},$$

где s – шаг движения георадара на криволинейном участке, м;

R – радиус кривой поворота, м;

B – ширина полосы отвода, м,

а на прямолинейных – в зависимости от расстояния видимости, при этом между двумя смежными поперечными проходами георадара выдерживают расстояние, равное расстоянию между двумя опорными точками t, которое определяют по формуле

$$t = 30 - 5\Delta h,$$

где Δh – перепад высот на 50 пог. м длины маршрута, м.

МАТЕРИАЛЫ, ОПУБЛИКОВАННЫЕ В АННОТИРОВАННОМ БИБЛИОГРАФИЧЕСКОМ СБОРНИКЕ ПО ВОПРОСАМ СТРОИТЕЛЬСТВА, РЕМОНТА И СОДЕРЖАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И МОСТОВ (ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ)

Оценка радарных систем, используемых для мониторинга толщины слоев дорожных одежд

Évaluation de systèmes radar pour controller l'épaisseur des couches de chaussées / Simonn J.-M. // Bulletin des laboratories des Ponts et Chaussées. – 2002. – № 238, mai-juin. – P. 51-59 (фр.).

Толщина слоев, составляющих дорожную одежду, является основным параметром, определяемым при обследовании и мониторинге дорог. С помощью радара этот параметр можно измерять почти непрерывно. В 2000 г. сетью региональных лабораторий дорог и мостов Франции (LPC) выполнена оценка рабочих характеристик радарных систем с целью определения влияния различных параметров таких систем на измерения, проводимые при мониторинге дорожных одежд.

Данные эксперименты позволили сделать вывод о том, что хотя уровень неопределенности измерений, выполняемых радарами, в основном, остается идентичным, их относительный диапазон измерений и, следовательно, потенциальное использование является различным.

Проведенная работа направлена также на качественное оценивание различных радарных систем в отношении области их применения с использованием для этого метода испытания LPC.

Неразрушающий способ исследования асфальтобетонных покрытий с помощью георадара

Zerstörungsfreie Untersuchungen von Asphaltbelägen mit Georadar / Hugenschmidt J., Partl M.N. // Bitumen. – 1999. – № 4. – S. 125-130 (нем.).

Представлены примеры использования георадара на автомагистрали А2 в Швейцарии для оценки толщины покрытия и выявления повреждений покрытий на четырех мостах.

Георадар является эффективным прибором для неразрушающего и экономически выгодного обследования асфальтобетонных дорожных покрытий и других инженерных сооружений. Для успешного использования георадара важны все стадии: проведение измерений, обработка и интерпретация результатов. Точность определения толщины покрытия зависит от состояния конструкции покрытия, качества измерений георадаром, а также затрат на обследование. Опыт показывает, что расхождение результатов, полученных при испытании кернов, с измерениями, выполненными георадаром, составляет менее 2 см.

При определении общей толщины покрытия используются высокочастотные антенны георадара, которые обеспечивают необходимую разрешающую способность и глубину проникания. Для исследования внутренней структуры покрытия часто используются низкочастотные антенны. Одновременное применение различных антенн георадаров обеспечивает возможность решения многих проблем.

Подписано в печать 10.10.2003 г. Формат бумаги 60х84 1/16.
Уч.-изд.л. 4,0. Печ.л. 4,5. Тираж 100. Изд. № 731. Ризография № 317.

Адрес ФГУП "ИНФОРМАВТОДОР":
129085, Москва, Звездный бульвар, д. 21, стр. 1
Тел. (095) 747-9100, 747-9105, тел./факс: 747-9113
e-mail: gost.e-ecolog.ru
Сайт: gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru