

НА ВЫСОКИХ ЧАСТОТАХ

КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ КОНТАКТНЫХ И ВОЗДУШНЫХ АНТЕННЫХ БЛОКОВ ПРИ ГЕОРАДАРНОМ ОБСЛЕДОВАНИИ ДОРОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

На протяжении последних нескольких лет в Российской Федерации все чаще и чаще применяются методы георадиолокации при обследовании автомобильных дорог.

Данные георадарного обследования используются при изысканиях автомобильных дорог, для оценки качества строительных работ, определения объемов уложенных дорожно-строительных материалов, оценки запасов дорожно-строительных материалов в карьерах, принятия проектных решений в ходе реконструкции или ремонтов автомобильных дорог. Этот метод неразрушающего контроля позволяет получать непрерывные разрезы дорожных конструкций в продольном и поперечном направлениях. Производительность метода позволяет обследовать до 100 км автомобильных дорог за смену.

При георадарном обследовании дорожных конструкций применяют, как правило, высокочастотные антенные блоки для определения состояния и толщины покрытия и верхних слоев основания дорожной одежды, а низкочастотные – для нижних слоев основания и грунтов земляного полотна. Комплексирование разно-частотных антенн может осуществляться путем применения многоканального георадара, когда за один его проход на мониторе персонального компьютера можно увидеть результаты одновременной записи радарограмм высокочастотными и низкочастотными антенными блоками. Второй вариант – это использование обособленных антенн георадара различной частоты с дублированием одного и того же маршрута съемки.

В технической литературе приводится, как правило, опыт использования контактных антенн при обследовании дорожных конструкций по второму способу.

По данным отечественных разработчиков георадара «ОКО-2», применение воздушных (рупорных) антенн с отрывом от поверхности, в отличие от контактных, улучшает обнаружение границ

слоев зондируемой среды, причем как контрастных по диэлектрической проницаемости (например, граница «асфальт-щебень»), так и малоконтрастных (например, граница «щебень-песок») [1, 2].

В то же время в ходе выполненного сравнительного анализа высокочастотных антенных блоков (1700 МГц) [2] не упоминался вопрос, который касается изменения глубины исследований. Как показывает опыт наших практических работ, описанных ниже, применение воздушных (рупорных) антенных блоков действительно повышает качество отображения искоемых границ, но глубина исследования в условиях высокой влажности и большой мощности слоев покрытия ниже, чем у контактных антенн. К сожалению, в технической литературе опыт комплексного использования воздушных и контактных антенн с одной и разными частотами для одних и тех же участков автомобильных дорог при обследовании конструктивных слоев дорожных одежд найден не был. С точки зрения обеспечения качества работ (точности и достоверности результатов) возникает вопрос о том, как же правильнее поступить в данной ситуации: применять контактную антенну или воздушную с той же высокой частотой, а может, воздушную антенну, но с большей (или меньшей) частотой зондирования, или обе антенны одновременно?

Для получения ответов на эти вопросы и разработки практических рекомендаций специалистами ФГУП «РОСДОРНИИ» был произведен обобщающий анализ последних выполненных работ с применением контактных и воздушных антенных блоков. При обследовании применялось вышеупомянутое георадарное оборудование «ОКО-2».

Георадарные обследования дорожных конструкций в ходе проектно-изы-

скательских работ были выполнены в Московской области на участках автомобильных дорог Саларьево – Мамыри (конец мая 2013 года) протяженностью 5 км и на Внуковском шоссе (конец июля 2013 года) – 3 км. В ходе комплексных обследований продольные проходы георадара осуществлялись по центру полос движения каждого из направлений антенными блоками АБ-1700Р (воздушный) и АБ-400 при помощи мобильной георадарной лаборатории на базе микроавтобуса Hyundai H1. Ввиду небольшого числа поперечников (12 и 11 шт. соответственно) работы выполнялись контактным антенным блоком АБ-400 при его ручном буксировании.

Для обоснования необходимости ремонтных работ и реконструкции георадарные обследования были также проведены на участках малой Московской кольцевой автомобильной дороги (ММК) в Московской области (в ноябре – декабре 2013 года) на севере (между Дмитровским и Ленинградским шоссе) и юге (между Симферопольским и Брестским шоссе). Методика работ на участках ММК аналогична описанной в ходе работ на автомобильных дорогах Саларьево – Мамыри и Внуковском шоссе. При этом длина каждого из участков не превышала 2 км. При комплексном обследовании в продольном направлении применялись те же антенные блоки, что и на предыдущих участках. Однако в поперечном направлении помимо буксирования антенного блока АБ-400 дополнительно применялся также контактный антенный блок АБ-1700У.

Для оценки качества дорожно-строительных работ и объемов уложенных материалов георадиолокационные обследования были выполнены на вновь построенном участке федеральной автомобильной дороги М-7 «Волга» в республике Башкортостан (в начале августа 2013 года). В ходе этих работ продольные проходы при помощи мобильной георадарной лаборатории выполнялись всеми указанными антенными блоками (АБ-1700Р, АБ-1700У, АБ-400). Длина участка составляла 11 км по основному

№ п/п	Характеристика антенного блока	Антенный блок	
		АБ-400	АБ-1700У (АБ-1700Р)
1	Центральная частота, МГц	400	1700 (1700)
2	Максимальная глубина зондирования в пористых средах, м	5...6	1,0 (0,8)
3	Разрешающая способность по глубине, м	0,15	0,03 (0,03)
4	Габаритные размеры, см	68×28×12	37×24×13 (20×17×14)
5	Масса, кг	4,2	0,8 (0,8)

Табл. 1. Характеристики антенных блоков

ходу (прямое и обратное направления) и примерно столько же по транспортным развязкам. Согласно заданию шаг поперечных проходов георадара по основному ходу трассы был равен 50 м. Ручное буксирование контактной антенны потребовало бы существенных временных затрат, в связи с чем было принято решение выполнять поперечные проходы с автомобиля, закрепив антенный блок АБ-1700Р на боковой части его кузова. При этом ширина проезжей части (10,3 м в каждом из направлений движения) и минимальный трафик движения (только строительные машины) обеспечивали возможность такой съемки.

Предполагалось, что антенные блоки АБ-1700У и АБ-1700Р дадут необходимую информацию о слоях дорожного покрытия и верхних слоях основания, а АБ-400 – о нижних слоях основания и верхних слоях земляного полотна.

Автомобильная дорога Саларьево – Мамыри в Московской области проходила в нулевых отметках, визуально были заметны застои воды на поверхности покрытия и прилегающих территориях. По данным буровых работ, покрытие состояло из верхнего слоя асфальтобетона и цементобетонного основания. Общая толщина асфальтобетона и цементобетона на отдельных участках доходила до 0,71 м. В условиях высокой влажности и большой толщины верхнего слоя покрытия антенный блок АБ-1700Р позволил увидеть отчетливо лишь границу раздела сред асфальтобетон – цементобетон. Подошва цементно-бетонного слоя, нижних слоев основания и земляного полотна были определены по данным антенны АБ-400.

В ходе георадарного обследования дорожных одежд на Внуковском шоссе Московской области условия были более благоприятные. К концу июля слои основания дорожной одежды, а также грунты земляного полотна успели просохнуть. Общая толщина верхних слоев дорожной одежды (с учетом цементобетона) зачастую не превышала 0,35 м. В этом случае антенный блок АБ-1700Р позволил увидеть все слои дорожной одежды с приемлемой контрастностью (асфальтобетон, цементобетон, песчаный слой, слой между подошвой песчаного слоя и подошвой дорожной одежды). По данным, полученным с помощью антенного блока АБ-400, в продольном и поперечном направлении была определена кровля земляного полотна.

В ходе работ по георадарному обследованию автомобильной дороги М-7 «Волга» в Республике Башкортостан по данным, полученным с помощью антенного блока АБ-1700Р, по основному ходу удалось отчетливо увидеть лишь подошву асфальтобетонного слоя, подошва нижележащего слоя щебня не просматривалась ни на одной из радарограмм. Толщина асфальтобетонного покрытия по основному ходу трассы (по данным бурения) находилась в пределах 22–28 см. В условиях обильного выпадения осадков за период, предшествующий работам, стало очевидно, что антенный блок АБ-1700Р не способен распознать отражающую границу, соответствующую подошве щебня на глубине порядка 0,5 м. Поэтому было принято решение продублировать полученные результаты данными контактного антенного блока АБ-1700У, глубина зондирования которо-

го обеспечила возможность интерпретации подошвы щебенистого слоя, а также нижерасположенного слоя песчано-гравийной смеси. При выполнении работ на транспортных развязках с антенным блоком АБ-1700Р подошва щебня уверенно интерпретировалась лишь на небольшой протяженности полученных радарограмм (не более 5%), хотя фактическая толщина асфальтобетона была порядка 12 см, а щебня – 20 см. В связи с этим (аналогично работам по основному ходу трассы) на развязках был применен контактный антенный блок АБ-1700У для определения подошвы щебенистого слоя и песчано-гравийной смеси. Также, как и по ранее выполненным работам, антенный блок АБ-400 использовался для определения нижней границы дорожной одежды и верхней границы земляного полотна. При выполнении поперечных проходов антенным блоком АБ-1700Р подошва щебенистого слоя на поперечниках была различима (в силу малой скорости перемещения и частого шага зондирования), а сопоставление полученных результатов с данными продольного профилирования антенным блоком АБ-1700У позволило говорить о соответствии данных.

Результаты, полученные в Московской области на ММК (оба участка), показали характерные границы раздела слоев асфальтобетона и кровлю цементобетона. На северном участке в ходе выполнения работ антенным блоком АБ-1700Р, при температуре воздуха –2°С, по заснеженному покрытию с толщиной асфальтобетона до 20 см, была определена кровля цементобетонного слоя (ниже асфальтобетона ничего не было видно). На южном участке при выполнении работ

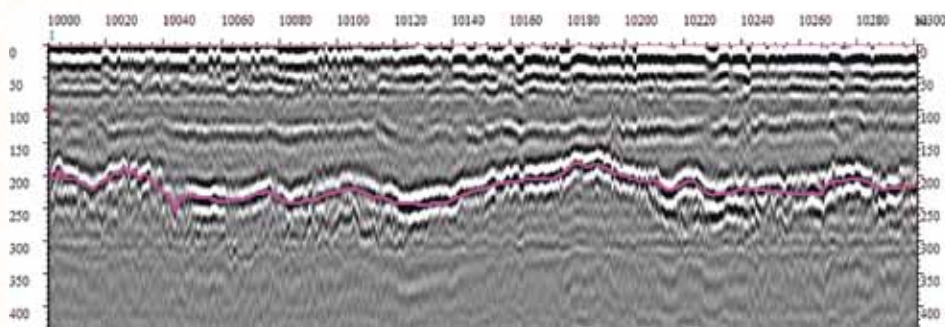


Рис. 1. Фрагмент интерпретированной радарограммы продольного прохода воздушным антенным блоком АБ-1700Р на трассе М-7 «Волга» в республике Башкортостан

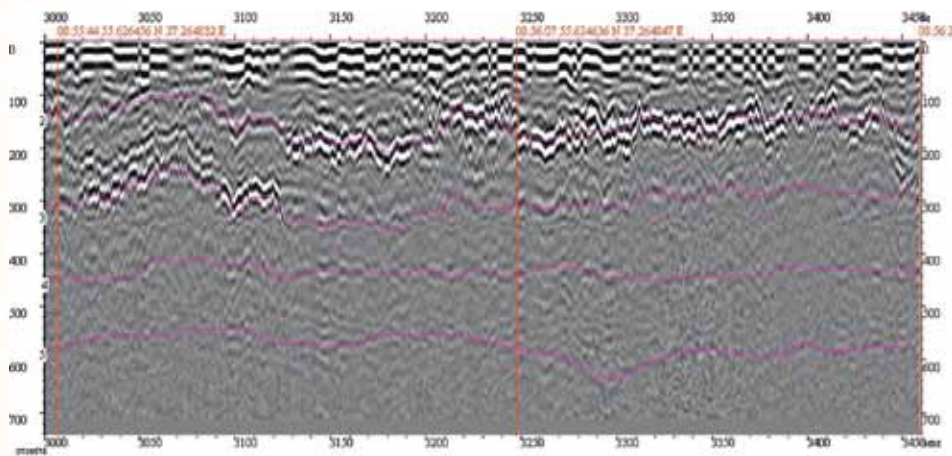


Рис. 2. Фрагмент интерпретированной радарограммы продольного прохода воздушным антенным блоком АБ-1700Р на Внуковском шоссе в Московской области

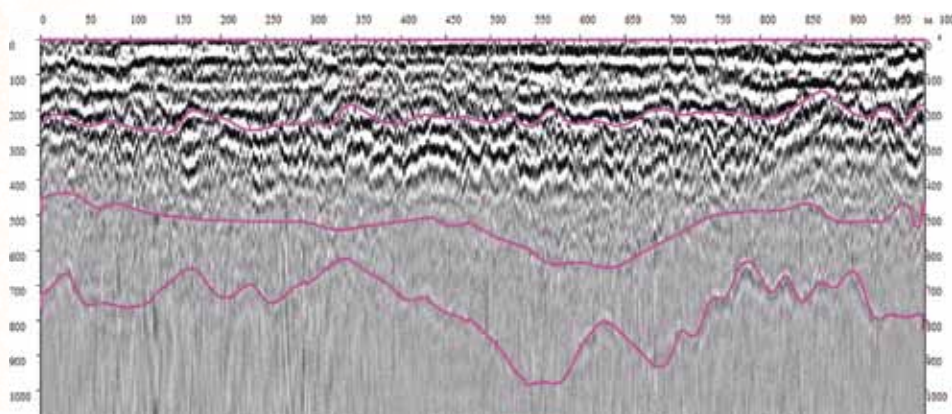


Рис. 3. Интерпретированная радарограмма продольного прохода контактным антенным блоком АБ-1700У на автомобильной дороге М-7 «Волга» в республике Башкортостан

при температуре +5°C, по расширенному покрытию, помимо границ раздела слоев (асфальтобетон – цементобетон) достаточно уверенно просматривались и границы слоев самого асфальтобетонного покрытия (общая толщина до 30 см). По данным антенного блока АБ-1700Р, в условиях высокой осенней влажности, подошву цементобетонного слоя увидеть не удалось. По данным АБ-400, подповерхностная структура просматривалась до глубины порядка 1,0 м, что позволило интерпретировать

подошву бетонных плит. Практически на всех радарограммах поперечных проходов с использованием контактного блока АБ-1700У подошва бетонного слоя просматривалась даже в условиях высокой влажности.

В большинстве случаев радарограммы, записанные антенным блоком АБ-1700Р с настройками антенны, оптимизированными для зондирования на скорости порядка 50 км/ч, позволяют увидеть лишь подошву слоя асфальтобетонного

покрытия. При этом граница очень контрастна (рис. 1).

Исключением являлись результаты, полученные на Внуковском шоссе в Московской области, когда на радарограммах, полученных при записи антенным блоком АБ-1700Р, с меньшей, но достаточной контрастностью выделялись все слои дорожной одежды (рис. 2). Точное выделение фиксируется для самых верхних отражающих границ.

Контактный антенный блок АБ-1700У дает большую глубину исследования, чем воздушный АБ-1700Р, однако радарограммы более «загруженные» (рис. 3), по сравнению с радарограммами воздушной (рупорной) антенны, в связи с чем точное выделение отражающих границ в ряде случаев осложняется.

Контактный антенный блок АБ-400 зачастую не позволяет увидеть границы раздела сред верхних слоев дорожной одежды (в силу малой разрешающей способности по глубине). Однако он может применяться для определения положения подошвы бетонного слоя, уложенного под слоем асфальтобетона, при значительной толщине обоих слоев (порядка 0,5 м и более), а также для локализации подошвы дорожной одежды и верха земляного полотна. Для сравнения: на рис. 4 и 5 представлены исходные радарограммы одного и того же участка автомобильной дороги М-7 «Волга», полученные соответственно антенными блоками АБ-1700Р, АБ-1700У и АБ-400. Изображения показывают, что волновая картина воздушного (рупорного) антенного блока позволяет точнее определить положение границы раздела слоев (более узкая ось синфазности), чем контактная антенна. На радарограмме рупорной антенны нужная ось синфазности, соответствующая искомой границе, не может быть принята ошибочно, ввиду отсутствия в данной области других отражающих границ. В то время как глубина зондирования контактными антенными блоками больше, чем воздушными (рупорными) антенными блоками.

Выводы

Рекомендации по совершенствованию методики георадиолокационного обследования антенными блоками АБ-1700Р,

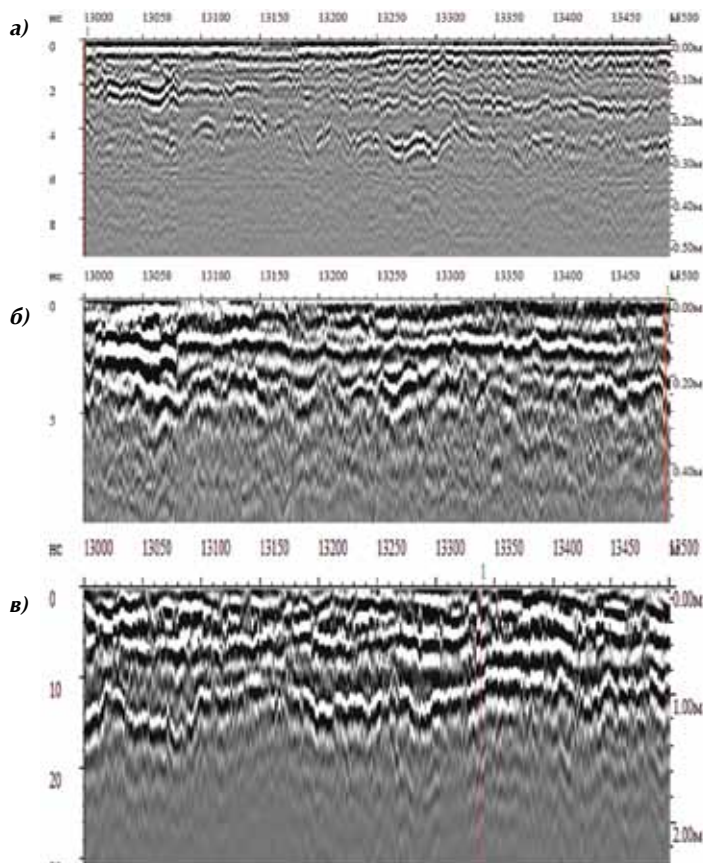


Рис. 4. Фрагменты исходных радарограмм, записанных в продольном направлении, на участке автомобильной дороги М-7 «Волга» ПК 12+00 – 12+500 в республике Башкортостан: а) АБ-1700Р; б) АБ-1700У; в) АБ-400

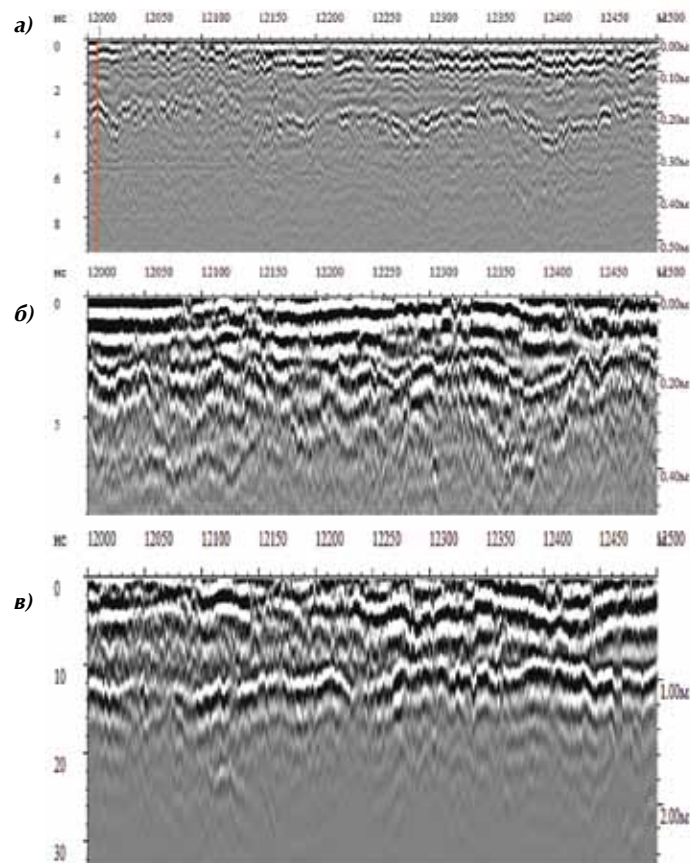


Рис. 5. Фрагменты исходных радарограмм, записанных в продольном направлении, на участке автомобильной дороги М-7 «Волга» ПК 13+00 – 13+50 в республике Башкортостан: а) АБ-1700Р; б) АБ-1700У; в) АБ-400

АБ-1700У, АБ-400 дорожных конструкций в различных условиях будут следующие:

- комплексное применение контактных и воздушных антенных блоков при обследовании дорожных конструкций в продольном и поперечном направлениях позволяет дополнять и уточнять полученные результаты разными блоками, а также повышать точность и достоверность результатов по определению толщины слоев;
- применять воздушные высокочастотные антенные блоки (1000, 1700, 2000 МГц) на автомобильных дорогах в России целесообразно для определения толщины асфальтобетонного покрытия;
- воздушные высокочастотные антенные блоки дают хорошие результаты по глубинности исследований в сухой летний период. В весенне-осенний период при влажных материалах дорожной одежды указанные антенные блоки не

позволяют фиксировать нижнюю границу цементобетонного слоя, перекрытого асфальтобетоном;

- в случае необходимости картирования слоев дорожной одежды на всю ее глубину целесообразно выбрать воздушную высокочастотную антенну с меньшей частотой (например, 1000 МГц);
- при необходимости обследования участков автомобильных дорог большой протяженности (например, сотни километров) эффективнее применять воздушные антенные блоки, которые значительно сокращают время обработки и интерпретации;
- контактные антенны более универсальны в использовании, так контактные высокочастотные антенные блоки (1200, 1700, 2000 МГц) позволяют получить разрез дорожной одежды на большую глубину, чем воздушные антенные блоки той же частоты;

- контактные антенны целесообразно применять при небольших объемах работ, а также при необходимости выполнения детальных обследований локальных участков, недоступных воздушными антеннами;
- радарограммы поперечных проходов лучше заменить продольными проходами с линейкой антенных блоков (или серией параллельных продольных проходов обособленных антенных блоков), это экономит время в ходе полевых работ и позволит быстрее выполнять привязку точек зондирования по интересующему поперечнику в ходе камеральных работ.

А.М. Кулижников,
д-р техн. наук, проф.,
ФГУП «РОСДОРНИИ»
Р.А. Еремин,
канд. техн. наук,
ФГУП «РОСДОРНИИ»

Литература:

1. Семейкин Н.П., Помозов В.В. Дорожный рентген / Автомобильные дороги. – № 3, 2005. – С. 23.
2. Семейкин Н.П., Помозов В.В. Георадары «ОКО». Сравнение возможностей АБ-1700 и АБ-1700Р (рупорный) по зондированию дорожного покрытия / электронный ресурс [http://www.geotech.ru/about/stati/georadary_oko_sravnenie_vozmozhnostej_ab-1700_i_ab-1700r_rupornyj_po_zondirovaniyu_dorozhnogo_pokrytiya/].