

Д-р техн. наук, профессор **А.М. Кулижников**
(ФАУ «РОСДОРНИИ»)

Конт. информация: kulizhnikov@rosdornii.ru

В статье сформулированы задачи, которые должны решаться с помощью дорожных георадаров. На основе анализа технических характеристик зарубежных георадаров и проведенных сопоставительных испытаний различных конструкций георадарного оборудования сформулированы качественные и количественные требования к дорожным георадарам.

Ключевые слова: георадар, задачи, автомобильная дорога, антенна, частота, требования.

В рамках федерального проекта «Общесистемные меры развития дорожного хозяйства» важное значение отводится формированию нормативно-технической и методологической базы создания цифровой модели автомобильных дорог федерального, регионального и межмуниципального значения, в которой в том числе предусматривается получение цифровой модели дорожной конструкции по результатам георадарного профилирования.

Георадар, являясь универсальным оборудованием, стал все чаще и чаще рассматриваться для решения отдельных узкопрофильных задач, которые в ряде случаев требуют его конструктивной индивидуальной доработки. К таким узкопрофильным задачам относятся: получение геологических разрезов на больших глубинах; картирование подземных коммуникаций на глубинах инженерных изысканий; применение бетоноскопов с высокой разрешающей способностью по трем координатам; археологические исследования на разных глубинах; поиск живых существ под обрушениями с помощью георадаров и т.д. В ряду специализированных георадаров можно выделить дорожные георадары, предназначенные для обследования дорожных конструкций.

Цель представленных в данной статье исследований заключалась в определении требований, предъявляемых к дорожным георадарам, предназначенным для обследования дорожных конструкций.

К задачам исследований было отнесено следующее:

- анализ технических характеристик георадаров, применяемых за рубежом и в Российской Федерации для обследования дорожных конструкций;
- формулирование задач, которые должны быть решены при помощи георадаров при обследовании дорожных конструкций;
- определение требований, предъявляемых к георадарам для обследования дорожных конструкций на основе анализа зарубежного опыта и отечественных сопоставительных испытаний.

Теоретические аспекты

Золотарев В.П. [1] был одним из первых, кто обратил внимание на георадары, предназначенные для решения узкопрофильных задач, и выделил отдельный класс такого георадиолокационного оборудования, которое предназначено для решения дорожных задач.

В требованиях к ним он отметил высокое разрешение по всем трем координатам, для чего используется линейная антенная решетка и многоканальный блок управления и обработки данных в реальном времени с предоставлением результатов исследований в трехмерном виде. Лучшим георадаром данного класса с непрерывным излучением и ступенчатым изменением частоты является норвежский Geoscore фирмы 3D-Radar. Антенные решетки выпускаются на различные частоты от 200 МГц до 3 ГГц и содержат от 9 до 41 антенной пары.

Другим представителем этого класса георадаров, которые можно отнести к дорожным, является MIRA 3D GPR шведской фирмы MALA Geoscience – это импульсный многоканальный георадар с двумя линейками передающих и приемных антенн. Антенны выпускаются на фиксированной центральной частоте от 200 МГц до 1,3 ГГц, количество каналов от 8 до 32. Данные представляются в трехмерном виде в режиме реального времени. Производительность данной однопроходной 3D-системы составляет до 50 000 м² в день.

В конструкциях шведской фирмы MALA Geoscience с многоканальными антенными блоками были заложены следующие принципы построения:

- разнос каналов предусмотрен в пределах $\frac{1}{4}$ от центральной длины волны передаваемого сигнала;
- обеспечена перекрестная связь между каналами;
- отклики и поляризация всех включенных антенн должны быть идентичны;

- погрешность позиционирования должна быть меньше половины разноса каналов.

Еще одним представителем георадаров, которые могут найти применение на дорожных объектах, является георадиолокационное оборудование «STREAM EM» итальянской фирмы IDS. Такой георадар отображает дорожную конструкцию в 3D, имеет 34 канала с центральной частотой 200 МГц и 4 канала с центральной частотой 600 МГц, при этом характеризуется низкой скоростью выполнения работ – 18 км/ч. Это ограничивает его использование для анализа покрытий и верхних слоев основания дорожной одежды, а также сдерживает применение на эксплуатируемых автомобильных дорогах. Однако на заложенных принципах построения могут быть другие модели данного оборудования, например, созданные на базе антенных блоков с высокими частотами, которые позволят в полном объеме решать дорожные задачи.

Из отечественного оборудования можно выделить георадары серии «ОКО-3» с шестиканальными антенными блоками.

К задачам, которые должны помогать решать дорожные георадары, следует отнести следующие:

- 1) Оценка толщины конструктивных слоев дорожной одежды (в соответствии с требованиями дорожных норм) и однородности материалов (трещины, загрязнение, однородность по плотности и влажности) их слагающих.
- 2) Определение местоположения ослабленных зон (участков разуплотнения и переувлажнения материалов и грунтов).
- 3) Фиксирование глубины промерзания и оттаивания дорожной одежды, положения уровня грунтовых вод.
- 4) Создание цифровых моделей дорожных конструкций с визуализацией пространственного расположения слоев дорожной одежды относительно друг друга.
- 5) Достижение высокого разрешения по трем координатам.
- 6) Представление результатов исследований в режиме реального времени.
- 7) Обеспечение привязки результатов измерений к географическим координатам.

Кроме того, скорость выполнения георадиолокационных работ должна соответствовать скорости движения транспортного потока на автомобильной дороге, которая будет изменяться в диапазоне от 50 до 110 км/ч.

При этом перечислены далеко не все задачи, которые приходится решать инженерам-дорожникам с использованием георадаров, например, такие как:

- разведка и оценка запасов дорожно-строительных материалов в карьерах;
- определение толщины льда и глубины водного потока на переправах;
- изыскания проложения трассы на местности и т.д.

Эти задачи можно отнести к дополнительным, которые в данной статье не будут рассматриваться.

Указанные выше решаемые задачи (без дополнительных) по уровню точности можно разделить на две группы:

– *первая группа*

Задачи, требующие точных решений и относящиеся к созданию информационных моделей (3D) для проектирования и строительства автомобильных дорог (сантиметровая точность);

– *вторая группа*

Задачи, требующие менее точных решений и относящиеся, например, к получению информации для паспортизации, диагностики, геоинформационных систем (метровая точность).

Решению задач с разной точностью должны соответствовать и разные требования к дорожным георадарам. Если обратить внимание на требования Финского дорожного агентства к георадиолокационному оборудованию [2], то его классифицируют по двум категориям: категорию А и категорию В (табл. 1).

Таблица 1

Обязательные требования Финского дорожного агентства к уровню качества системы георадиолокации

<i>Проверки</i>	<i>Категория А</i>	<i>Категория В</i>
Сигнал/шум (отношение)	5 %	10 %
Кратковременная стабильность амплитуды	1 %	3 %
Долговременная стабильность амплитуды	3 %	6 %
Долговременная стабильность сигнала георадиолокационного оборудования	5 %	10 %
Линейность времени	5 %	7,5 %

Для первой группы задач целесообразно применить георадиолокационное оборудование категории А, а для второй группы задач – категории А и В.

Для качественного представления дорожной конструкции георадиолокационное оборудование должно быть оснащено многоканальными антенными блоками, при этом, чем больше количество антенных пар, тем точнее будет пространственное представление дорожной конструкции. Георадиолокационное оборудование при этом должно иметь не менее шести антенных пар, преимущество должно быть отдано антенным блокам со ступенчатым изменением частот.

Экспериментальная часть

С учетом решаемых задач рассмотрены результаты, полученные с помощью различных конструкций георадаров (табл. 2) на опытном участке Государственной компании (ГК) «АВТОДОР» автомобильной дороги А-107 в Московской области, где были проведены сопоставительные испытания, в которых приняли участие 7 организаций [3]. При этом необходимо отметить поддержку, предоставленную ГК «Автодор» для организации совместных исследований на опытном участке автомобильной дороги А-107.

Таблица 2

Характеристика георадаров, использованных в сопоставительных испытаниях

<i>Организации - участники</i>	<i>Тип георадара, характерная особенность</i>	<i>Частота антенных блоков, МГц</i>	<i>Тип антенны</i>
ФАУ «РОСДОРНИИ»	Импульсный «ОКО-3» (Россия)	250	Контактная
		900	Контактная
		2000	Бесконтактная
ГК «Логис-Геотех»	Импульсный «ОКО-3» (Россия)	400	Контактная
		1000	Бесконтактная
		2000	Бесконтактная
Geoscanners AB RUSSIA	Импульсный «Акула-9000С» (Швеция)	300	Контактная
		1000	Контактная
«ЭКОИНСТРУМЕНТ»	Импульсный «SIR-3000» (США)	400	Контактная
		900	Контактная
ООО «Таймер»	Моноимпульсный (видеоимпульсы) «ГРОТ 12Н» (Россия)	500	Контактная

<i>Организации - участники</i>	<i>Тип георадара, характерная особенность</i>	<i>Частота антенных блоков, МГц</i>	<i>Тип антенны</i>
ООО «Геоэксперт»	Ступенчато-частотная модуляция (экспериментальная установка)	1100-1800	Бесконтактная (рупорно-ригельная)
НПО «Терразонд»	Линейно-частотная модуляция «ГРТ-22» (Россия)	500-2000	Бесконтактная (мультиканальная антенная решетка)

Далее приведем краткие характеристики георадаров, представленных различными компаниями, участвующими в сопоставительных испытаниях:

- **ФАУ «РОСДОРНИИ»** и **ГК «ЛогиС-Геотех»** (рис. 1) в процессе сопоставительных испытаний работали с импульсными георадарами серии «ОКО-3». ФАУ «РОСДОРНИИ» использовали сменные антенные блоки с центральной частотой 250, 900 и 2000 МГц, а ГК «ЛогиС-Геотех» – соответственно 400, 1000 и 2000 МГц.



Рис. 1. Импульсный георадар «ОКО-3»

- **Компания Geoscanners AB RUSSIA** (является представителем компании Geoscanners AB (Швеция)) в процессе испытаний использовала импульсные георадары серии «Акула-9000С» (Швеция) со сменными антенными блоками GCB-300 и GCB-1000 и мультиплексором MCE-204 (4 канала) (**рис. 2**).



Рис. 2. Импульсный георадар «Акула-9000С» (Швеция)

- **Компания «ЭКОИНСТРУМЕНТ»** (**рис. 3**) в процессе сопоставительных испытаний применяла импульсный георадар серии «SIR-3000» (США) и антенны 400 и 900 МГц.



Рис. 3. Импульсный «SIR-3000» (США)

- **Компания ООО ТАЙМЕР (рис. 4)** использовала оборудование серии «ГРОТ 12Н» с антеннами 30 см. Центральная частота зондирования в воздухе составляла 500 МГц, с рабочей полосой частот 250-750 МГц. Данное оборудование отличается высокой мощностью сигнала. Оцифровка принимаемого сигнала осуществлялась за один зондирующий импульс.



Рис. 4. Георадар «ГРОТ 12Н»

- **Компания ООО «Геоэксперт» (рис. 5)** представила экспериментальную установку георадарной системы. При этом форматы файлов являются закрытыми, а обработка ведется с применением множества отдельных алгоритмов, скриптов и приложений, многие из которых находятся в процессе совершенствования. В экспериментальной установке компании ООО «Геоэксперт» использовалось оборудование *со ступенчатым изменением частоты* в диапазоне от 1100-1800 МГц. Антенный блок георадарной установки представлен двумя рупорно-ригельными антеннами, одна из которых является приемной, а вторая – передающей. Максимальная скорость движения при съемке имела ограничение в 20 км/ч (может достигать 40 км/ч), при этом обеспечивается шаг сканирова-

ния величиной менее 1 см. Глубина сканирования – до 2 м. Привязка данных осуществлялась с помощью измерительного колеса и спутникового оборудования в дифференциальном режиме. За один проезд с помощью установки создается один георадарный профиль. Решение компании ООО «Геоэксперт» в части сбора данных оборудованием со ступенчатым изменением частоты позволяет сократить время камеральной обработки за счет расшифровки одного георадарного профиля, эквивалентного серии георадарных профилей, полученных сменными антеннами.



Рис. 5. Экспериментальное оборудование ООО «Геоэксперт»

- **НПО «Терразонд» (рис. 6)** использовала оборудование серии «ГРТ-22» с **бесконтактной антенной решеткой** с распределенными приемными и передающими высокочастотными антеннами широкого диапазона (линейное изменение частот 500-2000 МГц), которая осуществляет зондирование среды с разных ракурсов. Каждый антенный модуль имеет по четыре антенных элемента для приемного и излучающего тракта, обеспечивающего 7 каналов измерений для каждого модуля. Представленное многоканальное решение позволяет осуществлять сбор семи точно параллельных профилей на ширину около 0,5 м с поперечным шагом между профилями 7,5 см. Антенная решетка имеет модульную структуру и обеспечивает возможность наращивания в ширину

примерно до 2,2 м. Съемка антенным блоком осуществлялась с помощью гироскутера со скоростью до 15 км/ч. Максимальная скорость записи данных с помощью автомобиля ограничена скоростью до 100 км/ч.



Рис. 6. Георадиолокационное оборудование «ГРТ-22»

Результаты исследований, выполненных на опытном участке автомобильной дороги А-107 различными конструкциями георадаров, приведены в отчете [3]. К теме данной статьи они имеют косвенное отношение и требуют большого формата статьи, поэтому в тексте не приводятся. Ранее указанные задачи, которые должны решаться с помощью георадаров, переформулированы как требования к дорожным георадарам, которые рассмотрены в **табл. 3** применительно к оборудованию, используемому в сопоставительных испытаниях. Требования к скорости выполнения работ не были установлены программой сопоставительных испытаний, поэтому данный критерий не учтен в **табл. 3**.

Оценка качественных требований, предъявляемых к дорожным георадарам

Организации-участники	Качественные требования к дорожным георадарам						
	Определение толщины слоев	Оценка однородности материалов	Определение местоположения ослабленных зон	Цифровые модели с пространственным расположением слоев	Представление результатов обследования в режиме реального времени	Привязка к географическим координатам	Высокое разрешение по трем координатам
ФАУ «РОСДОРНИИ»	выполняется с привязкой к координатам	оценивается	определяется место положение аномальных зон	не выполняется	требуется камеральная обработка и интерпретация	формирование GPS трека	по глубине 3-15 см в зависимости от антенных блоков
«ЛогиС-Геотех»	выполняется с привязкой к координатам	оценивается	выделяются участки низкочастотной высокоамплитудной записи	не выполняется	требуется камеральная обработка и интерпретация	осуществляется привязка к треку	по глубине 3-15 см в зависимости от антенных блоков

<i>Организации-участники</i>	<i>Качественные требования к дорожным георадарам</i>						
	<i>Определение толщины слоев</i>	<i>Оценка однородности материалов</i>	<i>Определение местоположения ослабленных зон</i>	<i>Цифровые модели с пространственным расположением слоев</i>	<i>Представление результатов обследования в режиме реального времени</i>	<i>Привязка к географическим координатам</i>	<i>Высокое разрешение по трем координатам</i>
Geoscanners AB RUSSIA	выполняется с привязкой к координатам	не оценивается	определяются ослабленные зоны	не выполняется, но может быть выполнена с помощью многоканальных антенн	требуется камеральная обработка и интерпретация	с помощью антенны спутникового приемника	по глубине 5-15 см в зависимости от антенных блоков
«ЭКОИНСТРУМЕНТ»	выполняется с привязкой к координатам	не оценивается	определяются зоны ослабленного грунта и зоны увлажнения	не выполнялась	требуется камеральная обработка и интерпретация	формирование GPS трека (точность 1,5-2 м), после обработки достигается сантиметровая точность	по глубине в зависимости от применяемых антенных блоков

<i>Организации-участники</i>	<i>Качественные требования к дорожным георадарам</i>						
	<i>Определение толщины слоев</i>	<i>Оценка однородности материалов</i>	<i>Определение местоположения ослабленных зон</i>	<i>Цифровые модели с пространственным расположением слоев</i>	<i>Представление результатов обследования в режиме реального времени</i>	<i>Привязка к географическим координатам</i>	<i>Высокое разрешение по трем координатам</i>
ООО «Таймер»	выполняется с привязкой к координатам	оценивалась	определяются ослабленные зоны	не выполнялась	требуется камеральная обработка и интерпретация	выполняется с привязкой к координатам	по глубине не заявлено
«Геоэксперт»	выполняется с шагом 1 м по длине профиля	выполняется	определяются зоны уплотнения и разуплотнения	не выполняются	требуется камеральная обработка и интерпретация	формирование GPS трека (погрешность 2-5 см)	в пространстве 21 см, по глубине 5-8 см

<i>Организации-участники</i>	<i>Качественные требования к дорожным георадарам</i>						
	<i>Определение толщины слоев</i>	<i>Оценка однородности материалов</i>	<i>Определение местоположения ослабленных зон</i>	<i>Цифровые модели с пространственным расположением слоев</i>	<i>Представление результатов обследования в режиме реального времени</i>	<i>Привязка к географическим координатам</i>	<i>Высокое разрешение по трем координатам</i>
НПО «Терразонд»	выполняется только верхнего слоя с привязкой к координатам	выполняется	определяются зоны ослабленного грунта и зоны увлажнения	выполняются	представлены трехмерные геопространственные данные	формирование GPS трека с использованием приемника RTK GNSS	в отчете не представлено

В табл. 3 приведены только требования по качеству, однако ни одно георадиолокационное оборудование, используемое в сопоставительных испытаниях, не обеспечивает в полной мере перечисленные в табл. 3 качественные требования. При этом следует отметить, что перед участниками сопоставительных испытаний ставилась совсем другая задача – оценить корреляцию результатов георадарного обследования с результатами определения упругого прогиба на поверхности дорожной конструкции (установка FWD¹), который зависит от наличия ослабленных зон и влажности грунтов земляного полотна.

Установка FWD [4] включает в себя механизм ударного нагружения и датчики-геофоны, расположенные на различном удалении от точки приложения нагрузки. Установка FWD предназначена для регистрации экспериментальной чаши максимальных динамических прогибов дорожной конструкции при ударном нагружении нагрузкой 50 кН. Расстояние для установки датчиков измерителей прогиба от точки приложения нагрузки составляет 0, 20, 30, 45, 60, 90, 120 и 250 см (рис. 7).

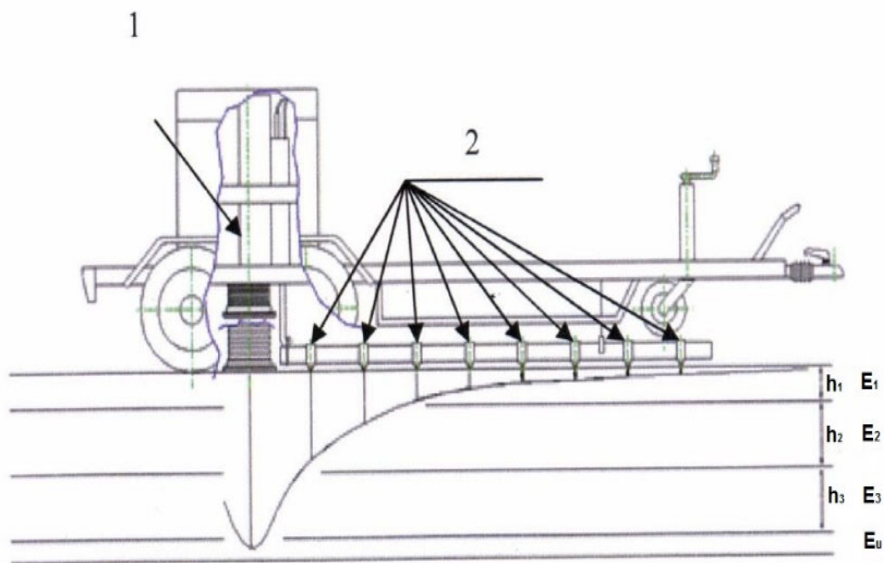


Рис. 7. Регистрация экспериментальной чаши динамического прогиба при помощи установки FWD:

1 – механизм ударного нагружения, 2 – датчики-геофоны

¹ Установка FWD (англ. Falling Weight Deflectometer) – Установка динамического нагружения падающим грузом.

Для моделирования напряженно-деформируемого состояния дорожной конструкции необходимо знать значения модулей упругости слоев дорожной одежды и их толщины. Информация о толщинах определяется в соответствии с проектными данными или по результатам георадарного сканирования.

Следует отметить, что только по результатам георадарных работ может быть определена фактическая толщина слоев.

При построении расчетной чаши прогиба вычисляют максимальные значения вертикальных перемещений точек поверхности дорожной конструкции, формирующих чашу прогиба. После построения расчетной чаши прогиба производится ее сопоставление с экспериментальной чашей прогиба. Если отклонение между значениями вертикальных перемещений в пределах чаши прогиба по каждому из датчиков превышает 10 %, производится их корректировка с одновременным пересчетом модулей упругости всей дорожной конструкции.

По результатам корректировки выявляется с помощью георадаров местоположение наиболее ослабленных слоев дорожной конструкции, которые требуют усиления.

Из представленных результатов можно было получить модули упругости каждого конструктивного слоя дорожной одежды, а также информацию, представленную в **табл. 3**.

Чтобы окончательно сформулировать требования, предъявляемые к дорожным георадарам, выполнен переход от качественных требований к количественным (**табл. 4**).

На данном этапе на основе параметрического метода достаточно было изложить требования, предъявляемые к дорожным георадарам (**табл. 3, 4**), чтобы поставить задачи для разработчиков отечественных георадиолокационных систем. Очевидно, что для решения поставленных задач необходимо время для выполнения глубоких исследований.

Оценка количественных требований, предъявляемых к дорожным георадам

<i>Количественные требования к дорожным георадам</i>						
<i>Определение толщины слоев</i>	<i>Оценка однородности материалов</i>	<i>Определение местоположения ослабленных зон</i>	<i>Цифровые модели с пространственным расположением слоев</i>	<i>Представление результатов обследования в режиме реального времени</i>	<i>Привязка к географическим координатам</i>	<i>Высокое разрешение по трем координатам</i>
Задача первой группы. Толщина слоев дорожной одежды должна определяться георадами категории А с точностью, устанавливаем-	Однородность материалов может оцениваться по многим показателям: гранулометрическому составу, пористости, плотности, влажности и т.д.	Местоположение аномальных зон должно определяться по атрибутивным признакам по глубине размеще-	Задача первой группы, георады категории А. В цифровых моделях слои дорожной одежды визуализируются с задаваемыми продольными и поперечными	Необходимо быстрое оцифровывание и накопление сигнала. Оптимальным является вариант получения пространствен-	Обязательна в зависимости от задач первой или второй группы и должна быть представлена с сантиметровой или	Задача первой группы с сантиметровой точностью. Необходима быстрая увязка георадарных (гео-

<i>Количественные требования к дорожным георадарам</i>						
<i>Определение толщины слоев</i>	<i>Оценка однородности материалов</i>	<i>Определение местоположения ослабленных зон</i>	<i>Цифровые модели с пространственным расположением слоев</i>	<i>Представление результатов обследования в режиме реального времени</i>	<i>Привязка к географическим координатам</i>	<i>Высокое разрешение по трем координатам</i>
мой допусками на устройство слоев дорожной одежды в соответствии с СП 78.13330.2012 [5].	Вопрос требует детальной проработки для изложения количественных требований в зависимости от задач первой или второй группы.	ния верхней и нижней границ, а также положению в плановых координатах, с точностью в зависимости от задач первой или второй группы.	уклонами в соответствии с проектными решениями. Допуски по уклонам, толщины слоев приведены в СП 78.13330.2012 [5].	ного изображения дорожных конструкций в режиме реального времени, не требующий продолжительной камеральной обработки.	метровой точностью. Необходима быстрая увязка георадарных данных, привязанных к местности по GPS в соответствии с ГОСТ 32869-2014 [6].	радары категории А) данных, привязанных к местности по GPS.

ВЫВОДЫ

1. На основе анализа технических характеристик дорожных георадаров можно заключить, что из отечественного георадиолокационного оборудования перспективными являются разработки, выполняемые НПО «Терразонд».
2. Задачи, которые должны быть решены при помощи дорожных георадаров, представляются следующими: высокое разрешение по трем координатам (определение толщины слоев дорожной одежды, определение местоположения ослабленных зон, оценка пространственного расположения слоев), оценка однородности материалов слоев, представление результатов в режиме реального времени, привязка результатов измерений к географическим координатам, выполнение работ при скорости движения транспортного потока по автомобильной дороге.
3. Требования, предъявляемые к дорожным георадарам, зависят от группы решаемых задач (первая или вторая группа). Результаты георадиолокационных работ должны быть интегрированы с географическими координатами и должны иметь для первой группы задач сантиметровую погрешность, а для второй группы задач – метровую погрешность. Для первой группы задач целесообразно применить георадиолокационное оборудование категории А, а для второй группы задач – категории А и В.

ЛИТЕРАТУРА

1. Золотарев В.П. *Современные тенденции развития георадарного оборудования* / В.П. Золотарев // *Инженерные изыскания*. – 2017. – № 12. – С. 46-51.
2. Saarenketto T. *The Use of GPR in Road Rehabilitation Projects* / T. Saarenketto, P. Maijala // *Ravaniemi*. – 2011.
3. *Отчет о НИР. Результаты работ на объекте «Автомобильная дорога А-107 «Московское Малое Кольцо между Киевским и Минским шоссе, рядом с д. Кобяково и пос. НИИ Радио» установками ударного нагружения (FWD) и георадарами. Книги 1-2.* – 2019. – 449 с.
4. *СТО АВТОДОР 10.1-2013. Определение модулей упругости слоев эксплуатируемых дорожных конструкций с использованием установки ударного нагружения (утв. приказом ГК «АВТОДОР»*

- от 05.09.2013 № 179). – М., 2013. – 25 с. – Электрон. данные. – URL: https://russianhighways.ru/upload/iblock/5ca/179_05.09.2013.pdf (дата обращения: 05.08.2020.).
5. СП 78.13330.2012. Автомобильные дороги. – Электрон. данные. – URL: <https://www.mos.ru/upload/documents/files/9966/SP78133302012.pdf> (дата обращения: 05.08.2020.).
 6. ГОСТ 32869-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Требования к проведению топографо-геодезических изысканий. – Электрон. данные. – <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293765/4293765498.pdf> (дата обращения: 05.08.2020.).

L I T E R A T U R A

1. Zolotarev V.P. *Sovremennye tendencii razvitiya georadarnogo oborudovaniya / V.P. Zolotarev // Inzhenernye izyskaniya.* – 2017. – № 12. – С. 46-51.
2. Saarenketto T. *The Use of GPR in Roade Rehabilitation Projects / T. Saarenketto, P. Maijala // Ravaniemi.* – 2011.
3. *Otchet o NIR. Rezul'taty работ na ob"ekte «Avtomobil'naya doroga A-107 «Moskovskoe Maloe Kol'co mezhdu Kievskim i Minskim shosse, ryadom s d. Kobyakovo i pos. NII Radio» ustanovkami udarnogo nagruzheniya (FWD) i georadarami. Knigi 1-2.* – 2019. – 449 с.
4. *STO AVTODOR 10.1-2013. Opredelenie modulej uprugosti sloev ekspluatiruemyh dorozhnyh konstrukcij s ispol'zovaniem ustanovki udarnogo nagruzheniya (utv. prikazom GK «AVTODOR» ot 05.09.2013 № 179).* – М., 2013. – 25 с. – Электрон. данные. – URL: https://russianhighways.ru/upload/iblock/5ca/179_05.09.2013.pdf (дата обращения: 05.08.2020.).
5. СП 78.13330.2012. Автомобильные дороги. – Электрон. данные. – URL: <https://www.mos.ru/upload/documents/files/9966/SP78133302012.pdf> (дата обращения: 05.08.2020.).
6. *GOST 32869-2014. Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Trebovaniya k provedeniyu topografo-geodezicheskikh izyskanij.* – Электрон. данные. – <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293765/4293765498.pdf> (дата обращения: 05.08.2020.).

**JUSTIFICATION OF REQUIREMENTS FOR
GROUND-PENETRATING RADARS**

*Doctor of Engineering, Professor **A.M. Kulizhnikov**
(FAI «ROSDORNII»)*

Contact information: kulizhnikov@rosdornii.ru

The article deals with the definition of the tasks that should be solved using road GPR (ground-penetrating radars). Based on the analysis of the technical characteristics of foreign ground-penetrating radars and realized comparative tests of various designs of ground-penetrating equipment, the qualitative and quantitative requirements for road ground-penetrating radars are formulated.

Key words: *GPR (ground-penetrating radar), tasks, road, antenna, frequency, requirements.*

Рецензент: канд. техн. наук Р.А. Еремин (ФАУ «РОСДОРНИИ»).

Статья поступила в редакцию: 05.08.2020 г.