



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АВТОНОМНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
РОСДОРНИИ

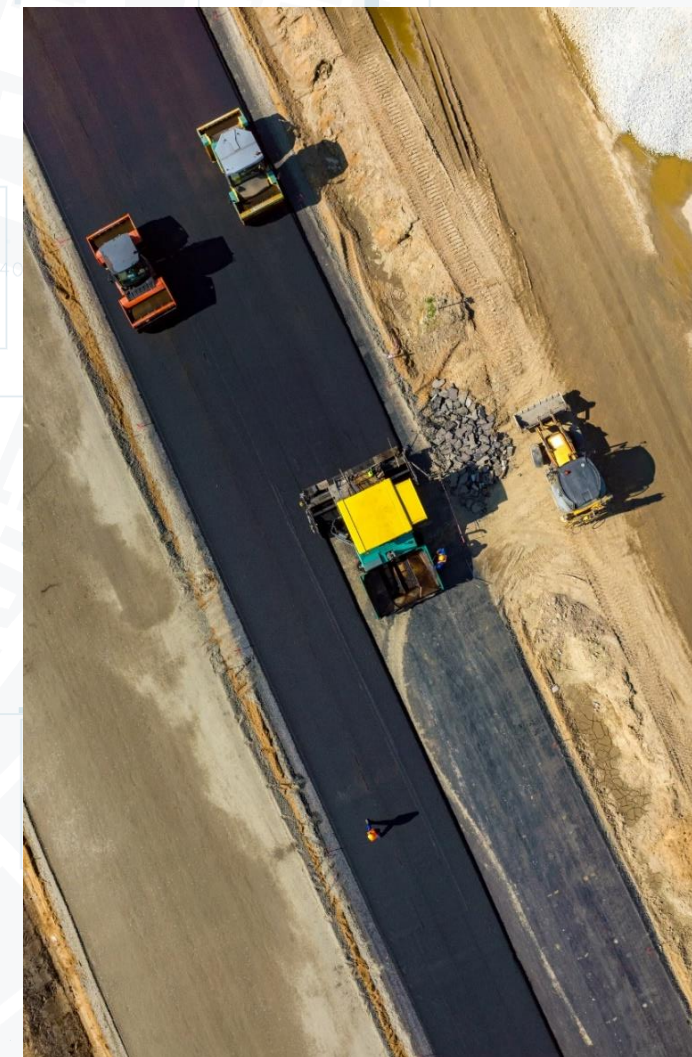
НОВЫЕ МЕТОДИКИ КОНТРОЛЯ ВОЗВЕДЕНИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

Еремин Роман Александрович

канд. техн. наук, заместитель начальника управления методов
проектирования автомобильных дорог ФАУ «РОСДОРНИИ»



1. В целях изучения свойств грунтов земляного полотна осуществляют лабораторные исследования отобранных проб, используются точечные электромагнитные методы, методы штамповых испытаний, статического и динамического зондирования
2. Целесообразно компенсировать недостаток информации точечных исследований непрерывными неразрушающими методами. Наиболее эффективный метод непрерывного электромагнитного обследования земляного полотна – неразрушающий метод георадиолокации, который оценивает толщину замены слоя слабого грунта, уплотнение грунта, уточняет локализацию ослабленных зон в грунтах естественного основания, определяет наличие неоднородных включений в земляном полотне и т.д.
3. На сегодняшний день методика и технические требования к неразрушающим методам обследования земляного полотна не установлены, **требуется регламентировать**, как часто и каким оборудованием следует проводить такие наблюдения в период строительства, какая методика выполнения работ должна быть применена, какие вспомогательные геодезические методы должны использоваться, какие параметры грунтов земляного полотна следует контролировать, по каким характеристикам необходимо принимать решения о соответствии состояния земляного полотна нормативным требованиям
4. Новые методики повысят эффективность операционного контроля слоев земляного полотна, а также позволят выполнить оценку пригодности естественного основания для возведения земляного полотна. Фактором повышения эффективности является непрерывный характер данных, получаемых неразрушающим методом, на всю толщину отсыпаемого слоя при возведении насыпи





ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ НИОКР

Цель

Повышение качества контроля состояния грунтов естественного основания и слоев земляного полотна при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте или ремонте автомобильной дороги с разработкой документа по стандартизации

Задачи

- анализ мирового опыта в повышении эффективности контроля строительства земляного полотна автомобильных дорог
- подготовка новых методик обследований и их апробация в рамках экспериментальных исследований
- разработка нормативных требований с методиками обследования грунтов естественного основания и слоев земляного полотна по результатам научного обоснования
- доработка и сопровождение до момента утверждения проекта разрабатываемого стандарта с учетом результатов публичного обсуждения



- ✓ Георадарная технология обследования автомобильных дорог в России прошла основные вехи своего развития и находится на стадии промышленного применения
- ✓ Сплошной неразрушающий контроль с помощью георадаров позволяет снять ограничения, свойственные традиционным методам получения точечной информации о свойствах и состоянии грунтов возводимого земляного полотна и его основания
- ✓ Интерпретация результатов георадарного обследования базируется на количественном анализе атрибутов сигнала георадара, связанных с физико-механическими свойствами грунтов и снижении экспертозависимости
- ✓ Разработанные новые методики не подменяют и не отменяют действующих традиционных подходов (ГОСТ 32731, ГОСТ Р 59864.1, СП 78.13330.2012), не призваны усложнять работу инженеров дорожного хозяйства, но предоставляют им дополнительные инструменты контроля устройства земляного полотна



Проведены опытно-экспериментальные георадарные работы на пяти участках автомобильных дорог в Московской, Ульяновской, Свердловской областях в период с марта по июль 2024 г.

Регион	Наименование объекта
Ульяновская обл., г. Ульяновск	Реконструкция моста по ул. Минаева с подходами по адресу: Российская Федерация, Ульяновская область, г. Ульяновск
Московская обл., н.п. Непецино	Строительство и реконструкция автомобильной дороги М-5 «Урал» от Москвы через Рязань, Пензу, Самару, Уфу до Челябинска. Строительство и реконструкция автомобильной дороги М-5 «Урал» Москва – Рязань – Пенза – Самара – Уфа – Челябинск на участке Ульянино – Непецино, Московская область
Московская обл., п. Октябрьский	Строительство и реконструкция автомобильной дороги М-5 «Урал» от Москвы через Рязань, Пензу, Самару, Уфу до Челябинска. Строительство и реконструкция автомобильной дороги М-5 «Урал» от Москвы через Рязань, Пензу, Самару, Уфу до Челябинска на участке обхода п. Октябрьский с мостом через реку Москва км 28 – км 37, Московская область. Этап 2.2. Строительство автомобильной дороги на участке км 26+080 – км 36+688 с мостом (левым) через реку Москва
Свердловская обл., г. Богданович	Строительство и реконструкция участков автомобильной дороги Р-351 Екатеринбург – Тюмень. Реконструкция автомобильной дороги Р-351 Екатеринбург – Тюмень км 35 – км 104+244 (обход с. Малые Брусяны, с. Мезенское, р.п. Белоярский г. Богданович) Свердловская обл.
Ульяновская обл., г. Димитровград	Капитальный ремонт автомобильной дороги Р-241 Казань – Буинск – Ульяновск, подъезд к г. Самара на участке км 208+240 – км 214+650, Ульяновская область



ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Документ устанавливает требования к георадиолокационным методам обследования грунтов земляного полотна и естественного (искусственного) основания в процессе производства работ при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте и ремонте автомобильных дорог общего пользования

Стандарт предназначен для применения на этапе выполнения дорожно-строительных работ при операционном контроле возведения земляного полотна

Стандарт не охватывает выполнение работ на территории распространения многолетнемерзлых грунтов



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ
СТАНДАРТ
РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р
(проект,
доработанная
редакция)

Дороги автомобильные общего пользования

ЗЕМЛЯНОЕ ПОЛОТНО

Георадиолокационные методы обследования

Настоящий проект стандарта не подлежит применению до его утверждения

Москва
Российский институт стандартизации
2024

3.2 атрибутный анализ георадарных данных: определение на радарограмме характеристик волнового поля атрибутам с целью получения информации о состоянии объекта исследования

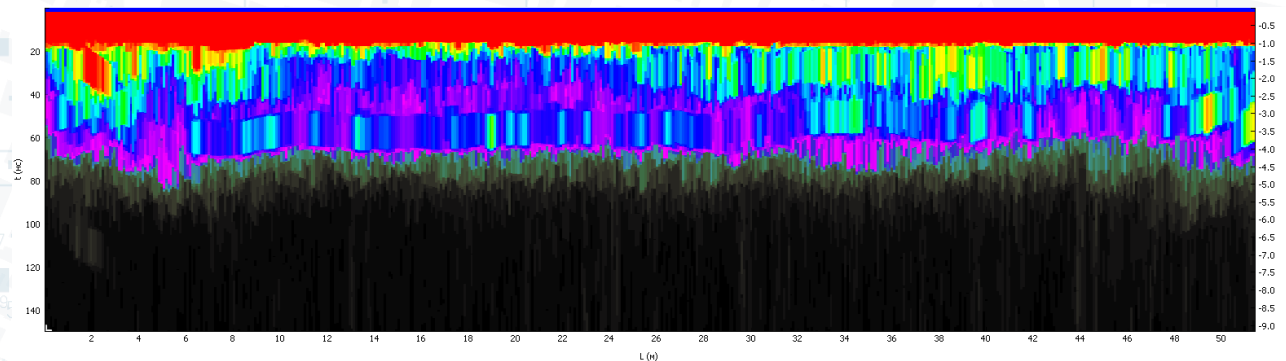
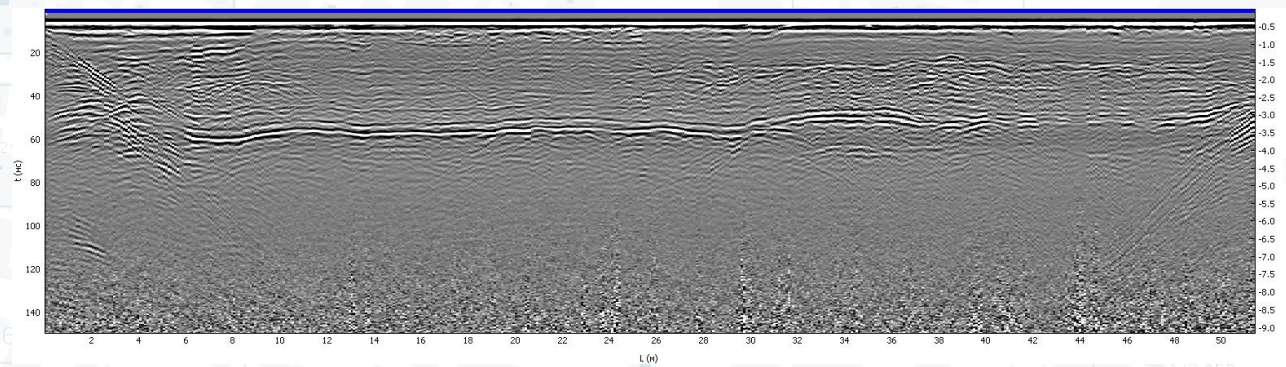
3.18 максимальная амплитуда: максимальное абсолютное значение амплитуды сигнала в выбранном временном окне георадиолокационной трассы

3.28 спектральная частота: частота, соответствующая максимальной спектральной амплитуде сигнала

3.22 ослабленная зона: локальный участок земляного полотна и/или естественного (искусственного) основания, характеризующийся снижением прочностных и деформационных характеристик грунтов по сравнению с характерными средними свойствами, которое вызвано изменением физических свойств грунтов от действия природных и техногенных факторов

Приведены определения таких ослабленных зон, как:

- обводнения
- переувлажнения
- разуплотнения



- Документ разработан в развитие требований ТР ТС 014/2011, ГОСТ 32731, ГОСТ Р 59864.1, ГОСТ Р 59864.2, ГОСТ 5180, ГОСТ Р 59866 и СП 78.13330.2012.
- Георадиолокационное обследование грунтов естественного основания необходимо выполнять до проведения основных работ по строительству земляного полотна
- Георадиолокационное сканирование земляного полотна необходимо выполнять в рамках операционного контроля устройства каждого его слоя
- К выполнению полного цикла работ георадиолокационным методом допускаются специалисты, имеющие образование ниже отраслевого среднего специального или высшего непрофильного образования, прошедшие обучение по работе с георадаром
- Даны рекомендации использования инструментов автоматизированной обработки и интерпретации георадиолокационных данных с последующим контролем оператора
- Все полученные с помощью георадара результаты в части выявленных несоответствий должны подлежать выборочной заверке разрушающими, традиционными полевыми и/или лабораторными методами

Применение вновь разработанных методик

Естественное основание

Локализация
ослабленных зон

Контроль замены
непригодных грунтов

Земляное полотно

Контроль строительства
из мерзлых грунтов

Контроль строительства
из разнородных грунтов

Контроль технологии
устройства грунтовых слоев

Используемые диапазоны центральных частот георадара при различных видах работ

Вид работ	Диапазон частот, МГц
Обследование естественного грунтового основания	50 - 700
Операционный контроль при послойном возведении земляного полотна <ul style="list-style-type: none">при толщине слоя до 30 смпри толщине слоя от 30* см и более	300 - 500 100 - 300

*максимальная мощность слоя грунта, подлежащего уплотнению и обследованию с помощью георадара, не может превышать 100 см

Требования к оборудованию для геофизических исследований, а также аппаратуре для получения и обработки инженерно-геологических данных приняты с учетом ГОСТ 32868–2014 и ГОСТ Р 58349–2019

Стандарт допускает использовать георадары:

- импульсные (с фиксированной центральной частотой)
- с пошаговой перестройкой частоты, а также измерением амплитуды и фазы волн в широком диапазоне частот
- использующие линейно-частотно модулируемый сигнал





ЕСТЕСТВЕННОЕ ОСНОВАНИЕ: МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ ОСЛАБЛЕННЫХ ЗОН

Методику рекомендуется применять в случаях, когда на этапе подготовки проектной документации были обнаружены непригодные для строительства грунты в естественном основании, а на стадии подготовки рабочей документации требуется уточнить местоположение ослабленных зон с целью полного их удаления на необходимую глубину

Рекомендуемый диапазон частот георадаров в зависимости от глубины зондирования

Глубина исследования	Рекомендуемый диапазон частот, МГц
До 3 м	400 – 700
От 3 м до 6 м	200 – 400
От 6 м до 10 м	100 – 200
От 10 м до 20* м	50 – 100

*с учетом 4.12

Расстояние между продольными георадарными профилями на дорогах различной категории

Категория автомобильной дороги	Расстояние между проходами георадара, м
I	10 – 12
II – III	6 – 8
IV – V	не более 5

Георадарное обследование основания земляного полотна выполняется сетью продольных и поперечных профилей

На каждом выявленном участке ослабленной зоны выполняют съемку не менее трех поперечных профилей

Количественные геофизические признаки ослабленных зон

Подкласс грунта (по ГОСТ 33063)	Ослабленная зона		
	Разуплотнение	Переувлажнение	Обводнение
Связные	Увеличение «максимума амплитуды» на 15-20%, увеличение удельного электрического сопротивления в 1,5 и более раз по отношению к средним значениям в исследуемом диапазоне глубин	Увеличение «максимума амплитуды» более чем в 2-2,5 раза по отношению к средним значениям в исследуемом диапазоне глубин; снижение «спектральной частоты» более чем в 3 раза по отношению к центральной частоте антенны	Снижение «максимума амплитуды» сигнала не менее чем на 40% по отношению к средним значениям в исследуемом диапазоне глубин
Несвязные	Увеличение «максимума амплитуды» на 20-25% по отношению к средним значениям в исследуемом диапазоне глубин	–	Снижение «спектральной частоты» более чем на 30% по отношению к центральной частоте антенны

ЕСТЕСТВЕННОЕ ОСНОВАНИЕ: МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ ЗАМЕНЫ НЕПРИГОДНОГО ГРУНТА

Методика представляет собой симбиоз методов геодезической съемки и георадарного обследования естественного основания

- **Геодезический метод следует применять для определения:**
 - а) геометрических размеров в плане котлована заменяемого грунта, а также местоположения створов прохода георадара
 - б) мощности заменяемого грунта в местах калибровки георадарных данных
- **Георадиолокационный метод при обследовании искусственного грунтового основания следует применять** в пространстве между точками геодезической съемки, а также в случаях, когда нет технологической возможности геодезическими методами получить отметки подошвы котлована на участках удаления непригодного грунта
- **Обследование георадиолокационным методом предполагает** выполнение работ антенными блоками по сети профилей, выполненных проходами поперек участка обратной засыпки (на ширину слоя обратной засыпки)
- **Количество поперечных профилей должно составлять** не менее 3-х, расстояние между ними – не более 10 м
- **При проведении георадиолокационной съемки следует** предусмотреть на каждые 50 м участков замены непригодного грунта не менее одного пересечения георадарного профиля с калибровочной точкой

Схема расположения поперечных георадарных профилей (вид сверху)

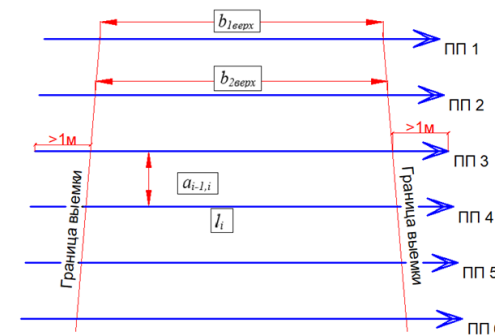
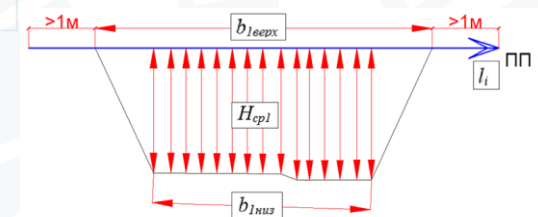


Схема выполнения поперечного георадарного профиля (вид в профиле)



ЗЕМЛЯНОЕ ПОЛОТНО: МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ И РАЗМЕРА МЕРЗЛЫХ КОМЬЕВ, НЕОДНОРОДНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ В ГРУНТАХ НАСЫПИ

Методику рекомендуется применять в рамках операционного строительного контроля по ГОСТ 59864.1 при строительстве из мерзлого грунта

- Наличие мерзлых комьев и неоднородных включений использованием георадарного метода оценивают до уплотнения слоя
- Георадиолокационную съемку необходимо выполнять по сети параллельных продольных профилей, равномерно распределенных всю ширину земляного полотна, начиная от оси трассы. Количество параллельных георадарных профилей зависит от ширины земляного полотна и должно быть не менее трех, при этом расстояние между продольными профилями должно составлять не более 5 м
- Георадиолокационные поперечные профили необходимо выполнять на участках, где в результате предварительной обработки продольных профилей выделены скопления мерзлых комьев по указанным признакам
- Следует записывать по одному поперечному георадиолокационному профилю на каждое выявленное место скопления мерзлых комьев для визуального их подтверждения

Таблица 1. Признаки обнаружения мерзлых комьев и неоднородных включений на радарограммах

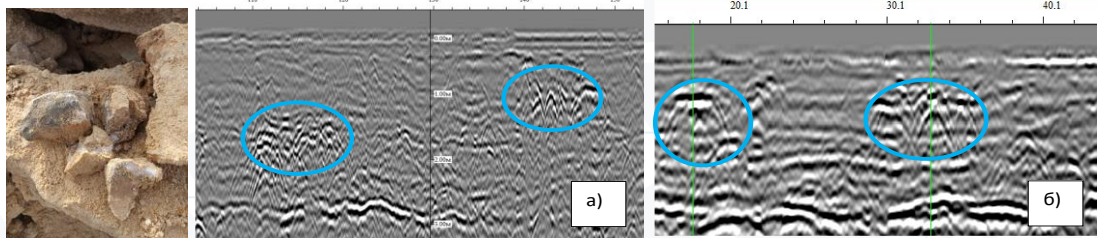
Признаки	Мерзлые комья	Скопления мерзлых комьев	Неоднородные включения
Тип записи на радарограмме	Одиночные гиперболы дифракции	Скопления близкорасположенных гипербол дифракции, образующих неделимую область, «хаотический» тип волновой картины (неоднородная текстура), интерференция (пересечение) гипербол дифракции между собой	Одиночные гиперболы дифракции, «звенящий» тип волновой картины на всю длину записи
Интенсивность отражённого сигнала		не высокая	высокая

Примечание – контрастные и резкие отражения являются признаком высокой интенсивности, размытые и блеклые – не высокой

Таблица 2. Определение размера мерзлых комьев и неоднородных включений в мерзлом грунте

Используемая частота антенного блока, МГц	Размер мерзлых комьев, см при толщине слоя	
	До 30 см	От 30 до 50 см
200 - 300	более 15	более 30
400 - 500	более 10	более 15

Фрагменты радарограмм с выделенными скоплениями мерзлых комьев



а) 400 МГц, б) 250 МГц

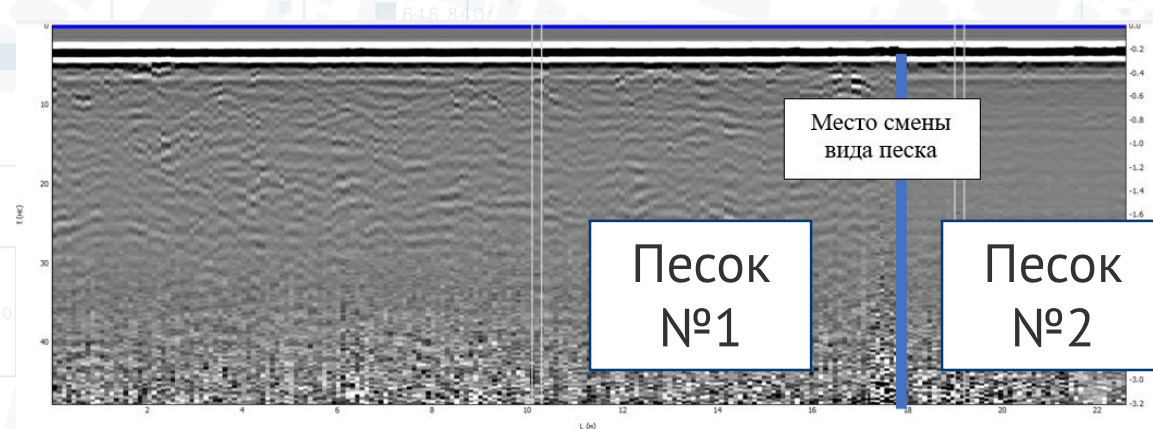
Размер скоплений мерзлых комьев в пределах толщины слоя отсыпки следует определять по максимальной длине области скоплений на радарограмме согласно таблице 1 при обнаружении на георадарных профилях признаков, указанных в таблице 2.

Размер мерзлых комьев в насыпях не должен превышать 2/3 толщины уплотняемого слоя, но не более 15 см для грунтовых оснований и 30 см для прочих насыпей

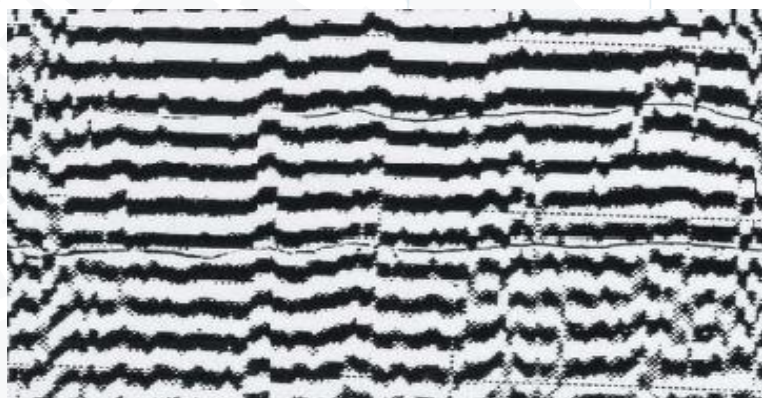
ЗЕМЛЯНОЕ ПОЛОТНО: МЕТОДИКА ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ОДНОРОДНОСТИ ПО ТИПУ И РАЗНОВИДНОСТИ ПО ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ПРИЗНАКАМ ГРУНТОВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

Методику рекомендуется применять в рамках операционного строительного контроля по ГОСТ 59864.1 при использовании грунтов из разных источников

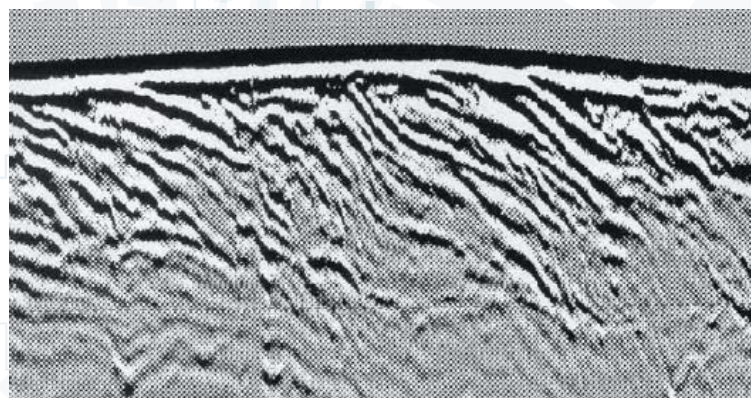
- Использование разных видов грунтов, различающихся по своим физическим характеристикам, в одном слое насыпи земляного полотна регламентируется ГОСТ Р 58397–2019
- Для определения однородности по типу и разновидности грунтов земляного полотна георадарное обследование должно выполняться по сети продольных профилей, равномерно распределёнными на всю ширину насыпи.
- Для определения геофизических признаков однородности по типу и разновидности грунтов земляного полотна следует применять атрибутивный анализ («максимум амплитуды», «спектральная частота»). Количественным признаком изменения однородности следует считать изменение одного из выбранных для расчёта атрибутов более чем на 25% для разных типов и разновидностей грунта земляного полотна



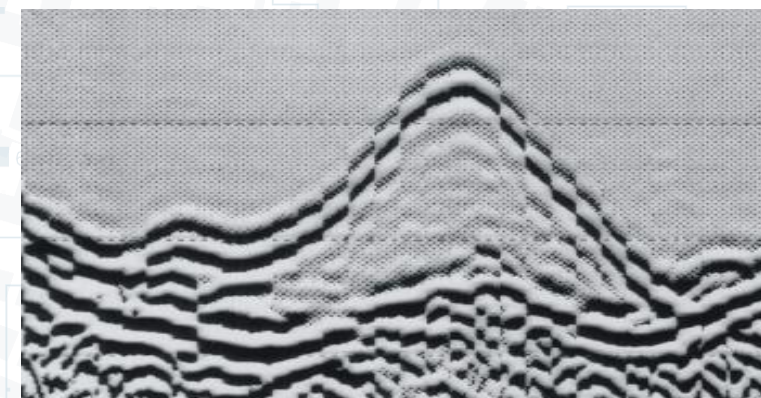
ЗЕМЛЯНОЕ ПОЛОТНО: МЕТОДИКА ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ОДНОРОДНОСТИ ПО ТИПУ И РАЗНОВИДНОСТИ ПО ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ПРИЗНАКАМ ГРУНТОВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА



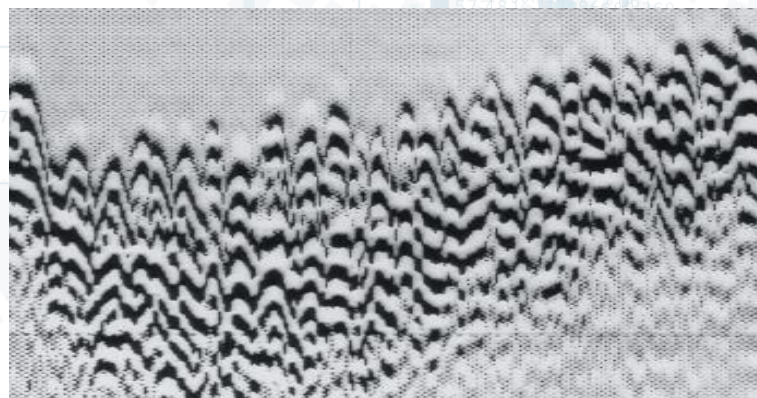
а) параллельно-слоистый («звенящий») тип, параллельные оси синфазности (характерен для техногенного грунта, участков повышенной влажности)



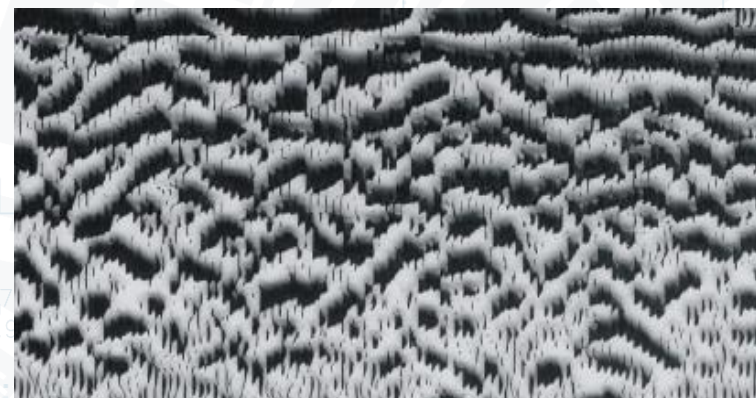
б) косослоистый тип, наклонные оси синфазности (характерен для песков крупных и средней крупности, прибрежных)



в) «прозрачный» тип (выделено красной линией), отсутствие осей отраженных волн выделено красным цветом (характерен для водонасыщенных мелких песков, суглинков, глины, илов, торфа)



г) «хаотический» тип (гравийно-галечниковый грунт, крупнообломочный, щебенистый, а также мерзлый грунт)



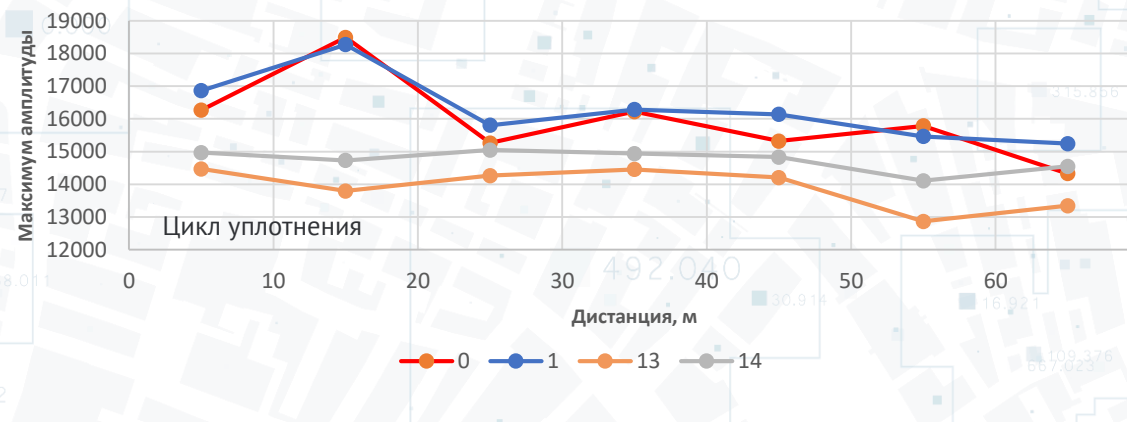
д) бугристый тип (характерен для мерзлых грунтов, крупнообломочных грунтов)

ЗЕМЛЯНОЕ ПОЛОТНО: МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ (КОЭФФИЦИЕНТА УПЛОТНЕНИЯ) ГРУНТОВ

Методику рекомендуется применять в рамках операционного строительного контроля по ГОСТ 59864.1 с целью предотвращения неоднородности плотности грунтов

- Продольные георадарные профили на длину участка захватки, но не менее, чем 100 м, выполняются непосредственно по оси каждой полосы движения
- Для контроля уплотнения выполняется выгрузка значений «максимума амплитуды» на глубину слоя отсыпки для каждого георадарного профиля на весь участок обследования
- Уплотнение слоя земляного полотна оценивается путем сравнения среднего значения «максимума амплитуды», полученного после начального и завершающего проходов уплотняющей техники на всю длину участка обследования
- Среднее значение «максимума амплитуды», рассчитанное на каждые 10 м георадарного профиля по длине захватки после завершающего прохода уплотняющей техники, должно быть меньше (на 20-30% для песчаного грунта и на 15-25% для глинистого грунта), чем среднее значение «максимума амплитуды» на соответствующие каждые 10 м георадарного профиля по длине захватки, рассчитанное после начального прохода уплотняющей техники

График изменения «максимума амплитуды» в зависимости от количества циклов уплотнения



Зависимость «максимума амплитуды» от плотности грунта



ПРИЛОЖЕНИЕ А. ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ НА ПРОВЕДЕНИЕ ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ

- Общий состав работ по строительному контролю при новом строительстве, реконструкции или капитальном ремонте участка автомобильной дороги указан в ГОСТ 32731–2014
- Неразрушающее георадиолокационное обследование участков строящегося, реконструируемого, а также ремонтируемого земляного полотна автомобильных дорог необходимо проводить в дополнение к требованиям ГОСТ 32731 – 2014
- Состав дополнительных работ по приведенным в стандарте методикам георадарного обследования представлен в таблицах А.1 и А.2 Приложения А

Состав работ по георадиолокационному обследованию

Наименование работ	Единица измерения
1. Георадиолокационный метод	пог. м
2. Геодезический метод	кол-во точек
3. Испытания статическим/динамическим плотномером	кол-во точек
4. Испытание статическим штампом	кол-во точек
5. Испытание динамическим штампом	кол-во точек
6. Контрольное бурение скважин (выработок)	шт./пог.м
7. Отбор проб	шт.
8. Лабораторные испытания проб	шт.
а) плотность	
б) стандартное уплотнение	
в) оптимальная влажность	
г) влажность	
д) тип грунта	
е) гранулометрический состав	

1

Сформированы и отработаны методики цифрового георадиолокационного обследования грунтов естественного основания и земляного полотна при его послойном устройстве, основанные на количественном атрибутивном анализе

2

Разработка новых методик позволяет заполнить пробелы в НТД, а именно на основе новых количественных показателей обосновать критерии качества возведения земляного полотна автомобильных дорог для урегулирования следующих вопросов:

- максимальное снижение риска деформации дорожных одежд и земляного полотна по завершении строительства вследствие повышения качества подготовки основания земляного полотна путем локализации ослабленных зон грунта естественного основания
- создание новых инструментов всестороннего контроля устраиваемых слоев земляного полотна во время строительства за счет сплошного неразрушающего контроля однородности свойств грунтов земляного полотна по плотности (коэффициенту уплотнения), отсутствия неоднородных включений недопустимого размера, недопустимости наличия смерзшегося грунта при его отсыпке в зимний период и при последующем устройстве дорожной одежды
- формирование более эффективных подходов оценки соответствия возведенного земляного полотна, в частности путем непрерывного охвата полной протяженности земляного полотна с заданным шагом (от нескольких см до одного м) на всю мощность земляного полотна

3

Предлагаемая методика георадиолокационных работ на основе количественных атрибутивных показателей позволит повысить качество контроля дорожно-строительных работ при возведении земляного полотна, тем самым обеспечит устойчивость земляного полотна в период эксплуатации, позволит выдержать его межремонтные сроки службы и увеличит надежность дорожных конструкций



Спасибо за внимание

