

Пупатенко Виктор Викторович, к.т.н., доцент ДВГУПС (pvv@festu.khv.ru)

Стоянович Геннадий Михайлович, д.т.н., профессор ДВГУПС

Организация: Дальневосточный государственный университет путей сообщения,

Кафедра: «Железнодорожный путь и проектирование железных дорог»

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБСЛЕДОВАНИЯ ВЗЛЕТНО-ПОСАДОЧНЫХ ПОЛОС АЭРОДРОМОВ

Аннотация: При обследовании взлетно-посадочных полос и других сооружений инфраструктуры аэропортов наряду с традиционными методами инженерно-геологического обследования широко применяются геофизические методы. Основные задачи геофизического обследования и практически значимые результаты рассматриваются в статье на основе многолетнего опыта применения реорадарного и сейсмического методов на аэродромах Дальнего Востока России.

Практика показала, что снизить стоимость инженерно-геологического обследования взлётно-посадочных полос и других объектов инфраструктуры аэропортовых комплексов позволяет использование наряду с традиционными методами (шурфование, бурение) менее дорогих геофизических, неразрушающих методов (сейсмических, георадиолокационных, электро- магниторазведки и др.).

Задачи георадиолокации разбиваются на два класса. Первый класс – структурные задачи (определение геологической структуры грунтовой среды), где в качестве модели выбирается слоистая среда с неизменными электрофизическими параметрами внутри каждого слоя. Второй класс – поисковые задачи (поиск локальных неоднородностей, коммуникаций, водоотводных сооружений, мин), где в качестве модели выбирается слоистая среда с локальными неоднородностями в форме цилиндра, сферы или эллипса.

Геофизические методы в большинстве своём относятся к неразрушающим методам контроля и диагностики, в практике строительства применяются достаточно давно, накоплен огромный опыт их использования. Во-первых, для сокращения объёмов и стоимости бурения и шурфования при выполнении инженерно-геологических изысканий при строительстве и реконструкции ВПП. Важным преимуществом геофизических методов является непрерывность грунтового разреза, в отличие от дискретной информации, полученной при бурении

скважин. Это позволяет обеспечить качество обследования, выявлять локальные неоднородности, ослабленные зоны и их границы.

Во-вторых, для контроля качества выполнения строительных работ, определения с заданной точностью и с минимальным количеством заверочных скважин и шурфов объёмов вырезки и замены грунтов основания, толщины конструктивных слоёв покрытия ВПП, наличия в монолитных (асфальтовых и бетонных) слоях трещин, нарушения сплошности и т.д.

В третьих, для выявления зон неоднородностей, ослабленных и увлажнённых зон, погребённых русел, оврагов и понижений, участков, на которых находятся погребённые техногенные объекты или их остатки. В качестве дополнительного результата такого обследования следует отметить возможность обнаружения кабелей, дренажей, труб и других погребённых сооружений, информация о которых может отсутствовать у инженерного персонала аэродромной службы.

В четвёртых, для мониторинга состояния ВПП и объектов транспортной инфраструктуры, фундаментов сооружений и грунтов их основания. Характерный пример таких работ – определение уровня грунтовых вод, зон обводнения, плотности грунтов, границ талых и многолетнемёрзлых грунтов, обнаружение карстовых полостей, контроль их развития.

В инженерной практике геофизические методы применяются и в других целях, как правило, решение каждой новой, нестандартной задачи требует и новых подходов, иногда математического моделирования, разработки нетиповой методики обследования. При этом расширяется круг задач, решаемых геофизическими методами, появляется полезный практический опыт, а в итоге – повышается качество и информативность обследования, достоверность полученных результатов.

Основной проблемой геофизических методов является качество интерпретации результатов. Проблемы и ограничения каждого из методов геофизики известны, и связаны они с переходом от скоростного разреза (или другого по физической характеристике) к глубинному, то есть с определением координат границ слоев грунта или выделенных зон неоднородностей.

Наиболее разработанные методы геофизического обследования – сейсмические. При обследовании ВПП например, **методом преломленных волн (МПВ)** на протяжении заданного профиля устанавливаются группы сейсмических датчиков, в соответствии с принятой методикой возбуждаются колебания в заданных точках профиля. Известные и хорошо отработанные методы интерпретации записанных колебаний позволяют получить сейсмический профиль, то есть определить скорости распространения сейсмических волн в грунтах основания. От способа возбуждения колебаний зависит тип волн (продольные или поперечные). Скорость распространения волн связана с характеристиками грунтов, что позволяет по известным зависимостям получить их распределение в грунтовом разрезе, например, значения коэффициента Пуассона, модуля упругости, плотности, ряд прочностных и деформационных характеристик.

Например, при обследовании ВПП (аэропорт г.Южно-Сахалинска) на основании обработки и анализа информации, предоставленной ГУДП ГПИ ГА «Дальаэропроект» (отчёт Института морской геологии и геофизики «Инженерные изыскания для определения уровня грунтовых вод южной части нагорной канавы с учетом всей площади сбора поверхностных стоков вод») выполнены расчеты по определению распределения влажности грунтов основания участка ВПП. В качестве исходных данных использовались сейсмические разрезы по профилю, выполненные для продольных и поперечных волн. Следует отметить высокий уровень, качество и детальность сейсмических профилей, выполненных под руководством к.г.м.н. В.Н.Патрикеева, которые после оцифровки в ДВГУПС позволили получить исходную информацию для расчета отношения величины поперечных и продольных волн.

Взятые в отдельности, продольные профили, полученные по методу МПВ, дают информацию о прочностных и деформационных свойствах грунта основания. Однако, практически все зависимости, связывающие скорость продольных и в некоторых случаях, поперечных волн с характеристиками справедливы для грунтов, находящихся в не водонасыщенном состоянии. Это обстоятельство потребовало выполнить анализ соотношения значения скорости поперечных волн к значению

скорости продольных волн. Известно, что при увлажнении грунта скорость продольных волн V_p увеличивается, однако скорость поперечных волн с увеличением этого показателя не изменяется. При соотношении V_s к V_p 0,3 и менее выделяются зоны обводненного влагонасыщенного грунта, что позволяет соотнести их с участками образования трещин на твердом покрытии ВПП (рис.1).

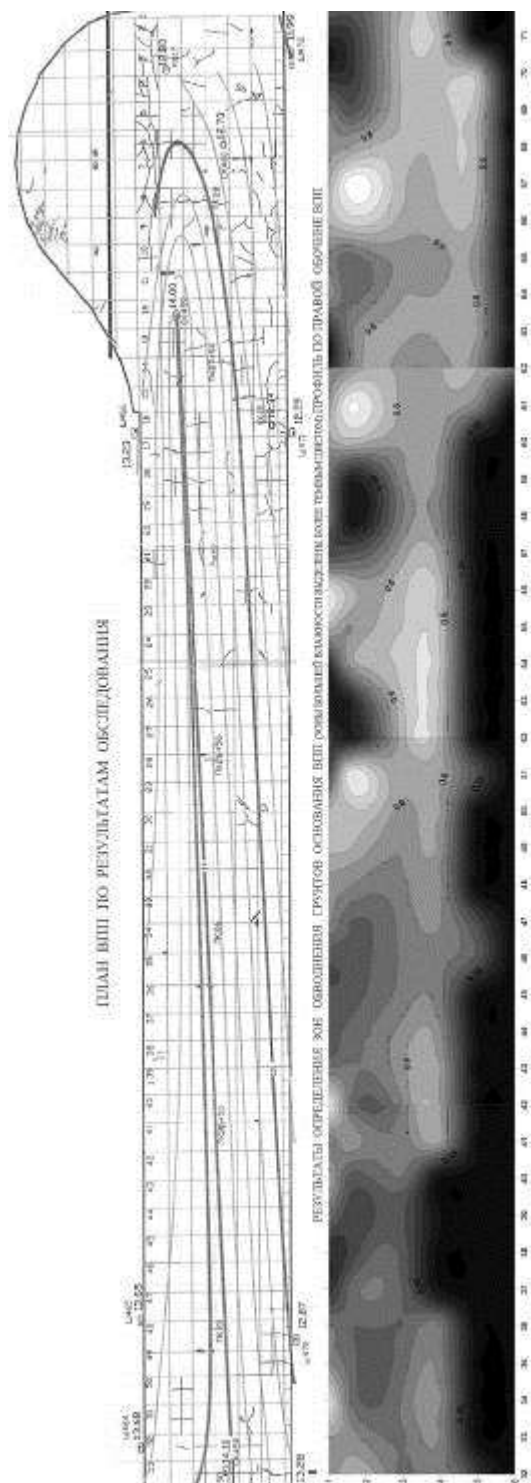


Рисунок 1. Результаты обработки соотношения скоростей продольных и поперечных волн по сейсмическому профилю и выделения обводненных зон по глубине разреза (чёрный цвет) на сейсмическом профиле вдоль правой обочины ВПП.

Таким образом, результаты сейсмического обследования, позволяют формировать совместные расчетные схемы ВПП и грунтового основания с непрерывным распределением прочностных и деформационных характеристик грунтов. Дальнейшие расчеты методом конечных элементов в упруго-пластической постановке дают возможность прогноза деформаций ВПП и её основания, качественно проектировать конструкции усиления.

Следует отметить, что метод преломленных волн, широко применяемый для литологического расчленения грунтовой толщи, имеет теоретические ограничения, связанные с наклоном слоев грунта, а также с условием обязательного увеличения скорости по глубине грунтового разреза. Профили, выполняемые МПВ часто назначаются рядом со взлетно-посадочной полосой, за пределами твердого покрытия. Поэтому часто применяется **малоглубинная сейсмотомография**, которая позволяет обойти эти ограничения за счет включения в расчетный разрез лучей, проходящих по нижним границам слоёв, даже если скорости распространения лучей в них ниже, чем в верхних слоях. Наклон слоёв в данном случае вообще не имеет значения, если эти слои огибаются траекториями глубоких лучей. Малоглубинное сейсмотомографическое обследование, являясь одним из прямых методов геофизики, применяется на коротких продольных или поперечных профилях с хорошо выраженной разницей отметок, например, на ВПП, сооруженных на насыпях высотой более 1 м.

По данным малоглубинной сейсмотомографии формируют расчетные схемы ВПП и грунтового основания с непрерывным распределением прочностных и деформационных характеристик грунтов. Дальнейшие расчеты методом конечных элементов в упруго-пластической постановке позволяют прогнозировать деформации земляного полотна и качественно проектировать конструкции усиления.

Разрешение сейсмических методов, то есть минимальный размер неоднородностей определяется длиной волны возбуждаемой в среде и регистрируемой в диапазоне частот системы «источник - приемник» и может составлять в зависимости от применяемого источника возбуждения 1,0 – 2,5 м.

В методе георадиолокации применяются радиоволны, что позволяет значительно увеличить разрешение и выделять при обследовании элементы размерами от нескольких сантиметров и более, в зависимости от частоты излучаемого радиосигнала.

Принцип действия радаров основан на излучении сверхширокополосных электромагнитных импульсов без несущей в подстилающую среду и регистрации их отражений от границ раздела слоев или объектов. Георадарные обследования проводятся на основании «Свидетельства о допуске к работам по инженерным изысканиям, которые оказывают влияние на безопасность объектов капитального строительства» серия 01-И 2569 (Приложение 2), рекомендаций «Свода правил по инженерным изысканиям для строительства» (СП Госстроя 1105-97 часть 4, пункт 4), а также региональных нормативных документов.

Основная задача - литологическое расчленение грунтового массива решается методом георадиолокации достаточно оперативно (скорость обследования от 1 до 6 км/ч и при минимальном занятии ВПП). Глубина разреза определяется поставленной задачей и может составлять от 0,5 до 30 и даже более метров. В каждом случае задача успешно решается с использованием специально подобранного комплекта аппаратуры. Точность определения положения границ грунтов зависит от характеристик георадаров (в первую очередь, от центральной частоты антенн георадара) и составляет 0,01...0,5 м. Наилучшие результаты получены при сопоставлении георадарного профиля с результатами опорного бурения. Как правило, георадарное профилирование позволяет сократить количество буровых скважин (рис.2), назначить места их выполнения с учетом выявленных неоднородностей сложения грунтов. Поверхность ВПП при обследовании не нарушается.



Рисунок 2. Выполнение буровых работ и следы скважин на ВПП. От георадара следов не остаётся.

Сроки выполнения буровых работ в зоне ВПП напрямую зависят от интенсивности движения воздушных судов, возможности предоставления технологических «окон». При выполнении георадарного обследования взлетно-посадочная полоса освобождается с минимальными потерями времени, комплект аппаратуры смещается на требуемое расстояние от ВПП в поперечном направлении, персонал вывозится на автомобиле (рис.3). Работа возобновляется так же быстро. Весьма полезной особенностью георадарных работ на ВПП является её ровная поверхность, отсутствие переотражений от деревьев, опор, линий электропередач и т.п. За пределами ВПП как правило требуется дополнительная расчистка профиля от растительности, учет дополнительных помех при расшифровке радарограммы.



Рисунок 3. Перерыв в выполнении работ по георадарному профилированию георадаром «Лоза».

Для получения грунтовых разрезов глубиной до 10 – 18 м применялся георадар «Лоза-В» в комплекте с антеннами длиной 1,0 – 1,5 м. В зависимости от поставленных задач на поперечных профилях выполненных с шагом 0,1 м выделялись оси дренажных сооружений (рис.4, а), границы вырезки грунта основания, а также конструктивные слои конструкции ВПП. На продольных профилях, выполненных с шагом 0,5 м выявлены зоны погребённых неоднородностей: палеорусл (засыпанные при строительстве или заполненные слабыми грунтами в более ранние периоды формирования и деградации русла старых рек, оврагов), остатки инженерных сооружений, действующие и заброшенные водоотводные сооружения, кабели. Кроме того, уверенно выделяются границы слоёв насыпных грунтов, основание насыпи под ВПП. Практика обследования показала, что на радарограммах хорошо выделяются даже слои грунта, которыми отсыпалось земляное полотно при сооружении ВПП. Это является своего рода «фотографией» процесса сооружения земляного полотна и границы отсыпаемых слоёв хорошо обнаруживаются через многие десятки лет после окончания строительства (рис.4, в).

Помимо обследования существующих ВПП, георадар широко применяется при обследовании участков на которых планируется новое строительство. Круг задач для георадарного обследования в этом случае расширяется. Так, при проектировании удлинения старой ВПП потребовалось определить глубину водоёма и объём грунта необходимого для его засыпки (рис.5). Работа выполнялась в холодный период времени, профили выполненные по льду дали возможность получить непрерывное очертание поверхности дна и рассчитать объёмы грунта. Позже полученный опыт пригодился для определения отметок дна реки Амур и Амурской протоки.



Рисунок 5. ВПП до реконструкции и озеро за пределами существующей полосы в зоне её удлинения

Для выполнения обследования применяются георадары различных конструкций. Ведущими зарубежными компаниями, производящими георадары, являются GSSI (приборы Sir systems), Sensor and Software Inc. (приборы ЕККО и Noggin), MALA, Radar Systems (приборы серии «Зонд»), OYO corporation, Geozondas. В России наибольшее распространение получили отечественные георадары серий «ОКО», «Лоза», «Грот», «ДРЛ», радары зарубежных производителей GSSI, MALA.

Для обследования подповерхностных слоев грунта на поперечных и продольных профилях широко применяется георадар «ОКО-2» в комплекте с антенными блоками различных типов. Конструкция антенных блоков очень удобна для ровной

поверхности ВПП, позволяет перемещать георадар по профилю автомобилем со скоростью 4-6 км/ч. Применение экранированных антенн снижает количество помех на георадарном профиле, что облегчает последующую интерпретацию полученных результатов.

Георадар MALA GeoScience CX-11 с антенным блоком частотой 1600 МГц применялся для обследования верхних слоёв конструкций ВПП и автомобильных дорог. Максимальная информативная глубина разреза достигает 1 м для бетона и асфальтобетона, разрешение по глубине составляет не более 1 см. Этот георадар позволяет выполнить неразрушающий контроль толщины верхних слоев, выявить трещины в средних и нижних слоях конструкции ВПП, скрытые сверху, например, слоем асфальтобетона.

Существует две основные технологии георадарного обследования: георадарное профилирование и георадарное зондирование. При **георадарном профилировании** намечается профиль, по которому затем проходит оператор с георадаром, у которого антенны приемника и излучателя находятся на заданном расстоянии друг от друга. При **георадарном зондировании** расстояние между антеннами постепенно увеличивается. При этом оставаться неизменным может либо положение оси георадара при одновременном разносе обеих антенн в разные стороны, либо положение передающей антенны.

Процесс обработки результатов георадарного обследования сводится к выделению на радарограмме полезных волн, отраженных от границ и от локальных неоднородностей. Для улучшения отношения сигнал/шум, корректировки аппаратных погрешностей и облегчения выделения и идентификации объектов применяют различные преобразования радарограмм. Для преобразования временного георадарного разреза в глубинный необходимы значения скоростей распространения электромагнитных волн в каждом слое. К настоящему времени накоплено большое количество экспериментальных данных о скоростях распространения сигнала в различных средах. Установлены зависимости скорости распространения электромагнитных волн от влажности для различных типов грунта.

Кроме того разработано несколько способов определения скоростей распространения волн в слоях грунта непосредственно на объекте исследования.

Нами широко применяется метод анализа годографов отраженных волн, который основан на обработке результатов дополнительного обследования методом георадарного зондирования с построением годографов отраженных волн от границ между слоями. Модификация этого метода для многослойных сред, в том числе, с сильной дифференциацией по скоростным свойствам разработана, опробирована и применяется ДВГУПС.

Для обработки радарограмм применяют специальное программное обеспечение, которое обычно поставляется в комплекте с георадаром. Наиболее распространены программы «GeoScan32», «ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ», «Easy3D». Также применяют программу MatGPR, разработанную А. Tzanis, предназначенную для математической обработки радарограмм. В ДВГУПС разработано программное обеспечение для комплексной расшифровки радарограмм с определением скоростных характеристик грунтов для многослойной среды (авторы Сухобок А.Ю и Пупатенко В.В.)

В заключение следует отметить, что геофизические методы развиваются, появляются новые, все более совершенные комплекты аппаратуры, развиваются новые методики интерпретации полученной информации. Нецелесообразно отказываться от традиционных методов инженерно-геологического обследования, однако необходимость применения неразрушающих методов контроля очевидна. При комплексном обследовании с применением геофизических методов появляется возможность получения качественно новой информации о состоянии конструкции ВПП и её основания, повышения достоверности результатов и, как следствие, обеспечения высокого качества проектных решений, контроля за их реализацией в процессе строительства, мониторинга состояния объектов аэродромной инфраструктуры при эксплуатации. Надёжность современных транспортных объектов, таким образом, обеспечивается сегодня и за счет применения современных геофизических методов.