



## СЛОЖНЫЕ ВОПРОСЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В ХОДЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ

**ПРОХАЧЕВ МАКСИМ**

Куратор VK-сообщества «Инженерная геофизика», автор Telegram-канала «Записки геофизика-изыскателя»

### АННОТАЦИЯ

Статья посвящена рассмотрению различных геофизических методов, применяемых в ходе инженерно-геологических изысканий, а также особенностям интерпретации их результатов и их влиянию на выбор конструктивных решений.

На практике геофизические методы могут существенно повысить эффективность и точность инженерно-геологических и геотехнических оценок, однако их корректное применение сопряжено со множеством нюансов – от выбора методики для конкретных геологических условий до грамотного анализа полученных данных и их согласования с результатами инженерно-геологического бурения и лабораторных исследований образцов грунта.

### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

инженерные изыскания; инженерно-геологические изыскания; геотехнические изыскания; геофизические методы; комплексный подход; совместная интерпретация.

# DIFFICULT ISSUES OF USING GEOPHYSICAL METHODS IN THE COURSE OF ENGINEERING-GEOLOGICAL SURVEY

**PROKHACHEV MAKSIM**

Curator of the VK community "Engineering Geophysics", author of the Telegram channel "Notes of a Geophysicist-Prospector"

## ABSTRACT

**This paper is devoted to the consideration of various geophysical methods used in engineering-geological surveys, as well as to the features of interpreting their results and their influence on the choice of design solutions.**

**In practice, geophysical methods can significantly increase the efficiency and accuracy of engineering-geological and geotechnical assessments, but the correct application of them is associated with many nuances (from the choice of a technique for specific geological conditions to competent analysis of the obtained data and coordinating them with the results of engineering-geological drilling and laboratory studies of soil samples).**

## KEYWORDS:

**engineering survey; engineering-geological survey; geotechnical survey; geophysical methods; integrated approach; joint interpretation.**

## ВВЕДЕНИЕ ►

В текущих условиях стремительного увеличения объемов инфраструктурного строительства растет и потребность в быстром и точном определении характеристик грунтовых массивов, расположенных на площадках будущих сооружений. Традиционные подходы к инженерно-геологическим изысканиям основаны на комплексных решениях, включающих инженерно-геологическое бурение, полевые и лабораторные испытания грунтов. Однако совершенствование геофизических методов заставляет специалистов по инженерно-геологическим изысканиям все чаще включать их в программы работ. Геофизика ориентирована на косвенные, неразрушающие исследования геологической среды с помощью физических полей (например, сейсмического, электромагнитного, гравитационного), что потенциально уменьшает объемы дорогостоящего и трудоемкого инженерно-геологического бурения, позволяя как минимум более акцентированно выбирать места для скважин.

Тем не менее применение геофизических методов в рамках инженерно-геологических изысканий сопровождается рядом сложных нюансов, связанных как с методическими, так и с организационно-технологическими аспектами. Важнейшая задача при этом – сформировать четкую связь между геофизическими параметрами (скоростями распространения упругих волн, электрическим сопротивлением, свойствами маг-

нитного поля и пр.) и инженерно-геологическими характеристиками грунтов (прочностью, влажностью, пористостью). И это помимо определения структуры геологической среды по полученному геофизическому разрезу.

Ошибки в трактовке корреляционных связей между геофизическими параметрами и показателями физико-механических свойств грунтов могут приводить к критическим погрешностям при оценке несущей способности оснований, устойчивости склонов, при прогнозировании осадок зданий и сооружений.

## ВЫБОР МЕТОДИКИ ►

Одна из ключевых методических проблем состоит в выборе правильной методики или, чаще всего, комплекса геофизических методов для решения конкретной инженерно-геологической или геотехнической задачи. Существуют, например, методы электрической разведки (вертикальное электрическое зондирование, электроразведка при поляризации), которые ориентированы на получение информации о геоэлектрических свойствах геологической среды, то есть об электрическом сопротивлении грунтов. Однако полученные при этом данные слабо коррелируют с механическими свойствами, если не дополнить результат данными сейсморазведочных методов (метода преломленных волн или метода отраженных волн), которые позволяют уточнить распространение продольных и поперечных сейсмических волн, выделить границы

между слоями грунтов с разными скоростями упругих волн, что дает более надежную информацию для определения плотности грунтов, их физико-механических свойств, а также потенциальной сейсмической уязвимости. Но даже здесь возникает необходимость учитывать такие факторы, как заглубленные подземные коммуникации, приповерхностные и геологические неоднородности, а также малоконтрастные границы между слоями, искажающие реальные параметры конкретного слоя.

## ПРОБЛЕМЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ►

Специфика геофизических данных требует аккуратной «калибровки» результатов по материалам инженерно-геологического бурения. Несмотря на то, что сейсмические и электрические методы отличаются относительно большой производительностью в полевых условиях, ключевой этап их применения – это сопоставление их результатов с априорными данными и последующая интерпретация. Геофизик-интерпретатор, к примеру, должен сопоставлять теоретические кривые вертикального электрического зондирования, полученные при моделировании геологической среды, с реальными кривыми зондирования, учитывая и возможную анизотропию среды. Анизотропия среды может проявляться в изменении величин одних и тех же геофизических параметров в зависимости от направления, наличия трещиноватости или слоистости в породах. Поэтому важно сопоставить

и скорректировать геофизические данные по результатам инженерно-геологических полевых и лабораторных испытаний: определение плотности, модуля деформации, коэффициента пористости и прочих параметров дает возможность приблизить геофизическую модель среды к реальности (к истинным условиям геологической среды).

Кроме того, существует проблема, связанная с неоднозначностью измеренных величин при проведении полевых работ. В геофизике результат сейсмического профилирования, например, может зависеть от выбранного типа источника волн, системы регистрации, времени суток (если речь идет об уровне помех), условий возбуждения и регистрации колебаний, наличия обводнения грунтовой толщи. Электроразведка, в свою очередь, очень чувствительна к переходному сопротивлению (заземлению) электродов на границе контакта с грунтом, к обводнению и засоленности грунтовой толщи в точке наблюдения и даже к суточным, недельным, месячным и годовым флуктуациям геофизических свойств геологической среды. Все это приводит к тому, что многие полученные геофизические модели обладают неопределенностью и требуют обязательной проверки и неоднократного корректирования.

Другим важным аспектом является вопрос глубины исследований. При проектировании фундамента или при оценке устойчивости откосов часто нужны данные только по верхней части грунтовой толщи (до глубины в первые десятки метров), в то время как слои, залегающие на большой глубине, имеют второстепенное значение. Сейсморазведка может работать в этом диапазоне, но, чтобы получить более детальное распределение скоростей, необходимо тщательно подбирать шаг приемных датчиков, расстояние между источником возбуждения и пунктами наблюдений. Ошибка в проектировании системы наблюдений ведет к большим искажениям при построении скоростных разрезов. Аналогично, при электроразведке важна правильная расстановка электродов (сетка разносов в месте наблюдения) в зависимости от необходимой глубины исследования и контрастности слоев.

Отдельным пунктом стоит сложность применения георадиолокационного профилирования (ГРЛП). С одной стороны, георадар позволяет с большой детализацией выявлять подповерхностные неоднородности – геометрию залегания

слоев, пустоты в массиве, техногенные включения (фундаменты старых зданий, кабели, трубы). С другой стороны, георадар в большей степени подвержен влиянию электрической проводимости грунта, которая растет при увеличении влажности или присутствии солей и глин. Высокопроводящие грунты «глушат» сигнал, тем самым существенно ограничивая полезную глубину зондирования. Для инженерной геологии это может быть критично при оценке рисков просадок, карстообразования или локализации подземных конструкций.

Действенным подходом к решению перечисленных проблем выступает совместная интерпретация данных разных методов (при так называемых комплексных геофизических исследованиях) и совместный анализ результатов с учетом инженерно-геологических и гидрогеологических данных. В этой связи все более актуальным становится применение современных программных комплексов, способных обрабатывать различные типы данных, создавать единую геологическую модель и непрерывно уточнять ее на основании результатов дополнительного полевого или лабораторного контроля. Такие системы должны позволять учитывать не только геофизические поля, но и физико-механические параметры для прогноза поведения грунтового массива и выбора оптимальных решений по проектированию фундаментов или укрепляющих мероприятий.

### О ЧЕМ ЗАБЫВАЕТ ЗАКАЗЧИК ►

К сожалению, миф о простоте интерпретации геофизических данных все еще распространен. Нередко заказчики ожидают, что несколько дней съемки на местности и быстрое построение геофизического разреза в программном продукте смогут заменить комплексные инженерно-геологические и геотехнические изыскания. Это, конечно, не соответствует реальности. Геофизика лишь дополняет, но не отменяет необходимость инженерно-геологического бурения, полевых испытаний грунтов и лабораторного анализа образцов грунта, поскольку «точечные» данные бурения дают референс для «калибровки» геофизических данных при расчете параметрических разрезов. Без такого «якоря» поток данных легко поддается неправильной интерпретации, приводя к недооценке или переоценке георисков.

Помимо этого при выполнении инженерно-геологических изысканий с применением геофизических методов недопустимо идти на компромиссы в части

квалификации исполнителей. Грамотный геофизик должен хорошо понимать основы инженерной геологии, а инженер-геолог – базовые принципы распространения упругих волн и электрического тока в грунтах. Только в этом случае возможно наладить продуктивный диалог и совместное толкование геофизических и геологических данных. Слаженное сотрудничество специалистов смежных направлений является критически важным для объективности и полноты итоговых выводов.

### ОШИБКИ И ИХ ПОСЛЕДСТВИЯ ►

Стоят упомянуть и о практических примерах ошибок. Одним из типичных случаев выступает некорректное отображение линзы более плотного или просадочного грунта в геофизических разрезах. Если не распознать правильную природу аномального сигнала, то итоговый отчет может привести к неверным рекомендациям по устройству фундамента.

Другая распространенная проблема – игнорирование сложного рельефа или техногенных объектов на площадке, которые меняют геометрическое положение приборов и электродов. В результате специалисты получают «скачущие» данные сопротивления или скорости упругих волн – и оператор интерпретации рискует неверно связать их с геологическими неоднородностями, хотя на практике это может являться воздействием техногенных объектов или форм рельефа.

### 3D РАЗВЕДКА ►

Наконец, важной вехой в развитии геофизических исследований для инженерно-геологических и геотехнических задач становится все более широкое применение методов трехмерных (площадных) исследований, позволяющих формировать объемную геофизическую модель участка. Однако создание и анализ трехмерных моделей потребуют еще больших объемов полевых измерений, аккуратной привязки координат и сложных алгоритмов построения геофизических визуализаций. Зато при грамотной реализации 3D подход позволяет выделить сложные объекты – оползневые тела, зоны выветривания, карстовые каверны, зоны фильтрации флюидов – и детально проследить контрасты между слоями. Эти возможности особенно востребованы при проектировании крупных инфраструктурных объектов – мостовых переходов, тоннелей, высотных

зданий, плотин, где ошибки обходятся чрезвычайно дорого.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ ►

Таким образом, грамотное применение геофизических методов в инженерно-геологических и геотехнических изысканиях может значительно повысить точность и эффективность таких исследований, обеспечив целостную картину грунтового массива. Однако для этого требуется комплексный подход, сочетающий в себе надлежащую методическую подготовку, качественное оборудование, многопрофильные команды специалистов, обязательную «калибровку» геофизических показаний и обоснованную интерпретацию полученных данных. Только так можно минимизировать риски неточностей и обеспечить надежность будущих сооружений, особенно в условиях масштабного строительства и ограниченного времени на проектирование.

В заключение стоит отметить, что развитие отечественных и мировых технологий в изыскательской геофизике дает широкие возможности для еще более точного картирования грунтовых усло-



вий и выявления потенциально опасных зон. Но без глубокого понимания физики процессов, корректного получения полевых данных и тщательного сопоставления их с классическими методами инженерной геологии геофизика не сможет заменить комплексный подход в ин-

женерно-геологических изысканиях. Она должна рассматриваться как мощный инструмент в руках профессионала, позволяющий глубже проникнуть в структуру грунтового массива и создать более надежные и экономичные решения для строительной индустрии. И



## Телеграм-канал журнала

**ГеоИнфо** Независимый электронный журнал

- Новости
- Статьи
- Обсуждения

<https://t.me/geoinfonews>