
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ
СТАНДАРТ
РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р

—
2026

(Проект, 1-я
редакция)

Инженерные изыскания
ИНЖЕНЕРНО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
Метод электротомографии

Настоящий проект стандарта не подлежит применению до его утверждения

Москва
Российский институт стандартизации
2026

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Обществом с ограниченной ответственностью «Институт геотехники и инженерных изысканий в строительстве» (ООО «ИГИИС») при участии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (МГУ имени М.В. Ломоносова)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 506 «Инженерные изыскания и геотехника»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от _____ 202__ г. № ___-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (www.rst.gov.ru)

© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2026

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения.....	
2 Нормативные ссылки.....	
3 Термины и определения.....	
4 Общие положения.....	
5 Оборудование и основные электроразведочные установки.....	
6 Подготовка и проведение измерений.....	
7 Обработка результатов измерений.....	
8 Интерпретация данных.....	
Приложение А (рекомендуемое) Схема оборудования при проведении инженерно-геофизических исследований методом электротомографии.....	
Приложение Б (рекомендуемое) Пример графического оформления псевдоразреза кажущегося сопротивления.....	
Приложение В (рекомендуемое) Пример графического оформления геоэлектрического разреза.....	

Введение

В настоящем стандарте установлены требования, предъявляемые к оборудованию, подготовке и проведению инженерно-геофизических исследований методом электротомографии, а также к обработке результатов измерений.

Разработка настоящего стандарта осуществлена авторским коллективом Общества с ограниченной ответственностью «Институт геотехники и инженерных изысканий в строительстве» (ООО «ИГИИС») (руководитель разработки — канд. геол.-минерал. наук М.И. Богданов; ответственный исполнитель — д-р техн. наук И.Н. Модин; исполнители — И.Д. Ефремов, С.А. Гурова, И.Д. Кравченко) при участии МГУ имени М.В. Ломоносова (ответственный исполнитель — канд. физ.-мат. наук А.А. Бобачев).

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Инженерные изыскания

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Метод электротомографии

Engineering surveys. Engineering geophysical surveys.

Method of electrical resistivity tomography

Дата введения — ____—__—__

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на инженерно-геофизические исследования, выполняемые в составе инженерно-геологических изысканий, и устанавливает требования к оборудованию, подготовке и проведению инженерно-геофизических исследований методом электротомографии, в том числе к обработке результатов измерений.

Настоящий стандарт не распространяется на выполнение инженерно-геофизических исследований методами трехмерной электротомографии, электротомографии с мобильными установками и электротомографического мониторинга.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие документы:

ГОСТ 25100 Грунты. Классификация

ГОСТ Р 71757—2024 Инженерные изыскания. Геофизические исследования
Метод вертикального электрического зондирования

ГОСТ Р 71771 Инженерные изыскания. Геофизические исследования Метод электропрофилирования

СП 317.1325800.2017 Инженерно-геодезические изыскания для строительства. Общие правила производства работ

СП 446.1325800.2019 Инженерно-геологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ

СП 493.1325800 Инженерные изыскания для строительства в районах распространения многолетнемерзлых грунтов. Общие требования

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов (сводов правил) в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный документ, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого документа с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого документа с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку. Сведения о действии сводов правил целесообразно проверить в Федеральном информационном фонде стандартов.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ 25100, ГОСТ Р 71757, ГОСТ Р 71771, СП 446.1325800, СП 493.1325800, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 двумерная инверсия: Автоматизированный процесс решения обратной задачи, результатом которого является геоэлектрический разрез в виде двумерной (2D) пространственной модели распределения удельного электрического сопротивления грунтов, полученной вдоль электротомографического профиля наблюдений.

3.2 кажущееся омическое сопротивление dU/I , Ом: Наблюденная разность электрических потенциалов, измеренная в приемной линии MN, нормированная на электрический ток в питающей линии АВ.

3.3 многосегментная методика электротомографии: Комбинирование расстановок с применением переходных удлинителей, с помощью которых подключают дополнительные сегменты электротомографической косы, для увеличения количества электродов в одной расстановке в целях увеличения диапазона значений действующих разносов.

Примечание — Многосегментная методика эквивалентна использованию станции с бóльшим числом электродов или дополнительным измерениям с косами с бóльшим шагом между электродами.

3.4 протокол геофизических измерений: Список команд автоматического подключения питающих и приемных электродов к электротомографической станции, в соответствии с которым автоматически проводятся измерения напряжения электрического тока на питающих электродах и разности потенциалов на приемных электродах без изменения положения электротомографической косы на геофизическом профиле.

3.5 расстановка (электродов): Линейное положение на местности электродов электротомографической косы.

3.6 сегмент электротомографической косы: Часть электротомографической косы, состоящая из многожильного кабеля и системы электродов.

3.7 фактическая длина профиля: Длина профиля, соответствующая длине электротомографической косы.

Примечание — Фактическая длина профиля, как правило, длиннее его проекции на инженерно-топографическом плане.

3.8 электротомографическая коса: Оборудование, состоящее из многожильного кабеля и системы электродов, последовательно соединенных в одну линию для передачи сигналов от приемных электродов к приемному устройству электротомографической станции и электрического тока от генератора станции к питающим электродам.

П р и м е ч а н и е — Электротомографическая коса может состоять из нескольких сегментов, которые через специальные разъемы соединяются друг с другом и с электротомографической станцией.

4 Общие положения

4.1 Инженерно-геофизические исследования методом электротомографии выполняют для решения следующих задач:

- определение инженерно-геологического строения грунтового массива (определение положения кровли скальных или мерзлых грунтов, мощности и состояния дисперсных грунтов, установления границ между скальными и дисперсными грунтами различного литологического состава и состояния);

- определение местоположения локальных неоднородностей в грунтовом массиве, их глубин залегания, форм и размеров (зоны трещиноватости, тектонические нарушения, карстовые полости, подземные горные выработки, локальные включения сильнольдистых грунтов и ледогрунтов и др.);

- изучение гидрогеологических условий — глубины залегания подземных вод, в том числе глубины залегания и мощности линз соленых и пресных вод.

Инженерно-геофизические исследования методом электротомографии также выполняют в составе локального мониторинга компонентов геологической среды и геотехнического мониторинга.

4.2 Метод электротомографии сочетает технологии электрического зондирования (ГОСТ Р 71757) и профилирования (ГОСТ Р 71751) и расширяет возможности этих методов.

При инженерно-геофизических исследованиях методом электротомографии выполняют измерения электрического поля с помощью приемных электродов при включении тока на разных действующих разностях с помощью питающих электродов. Для оптимизации процесса измерений и уменьшения числа положений приемных и питающих электродов все электроды располагают на одинаковом расстоянии друг от друга. В качестве токовых сигналов, как правило, используют разнополярные импульсы различной длительности.

4.3 Метод электротомографии предназначен для изучения горизонтально-неоднородных сред, которые характеризуются неоднородностью электрических свойств в горизонтальном направлении. Метод электротомографии предусматривает использование двумерных и трехмерных моделей геологической среды. Использование таких моделей обуславливает необходимость реализации наблюдений с высокой плотностью точек измерения. Обработку данных, полученных при электротомографических исследованиях, выполняют с применением программных комплексов автоматической двумерной инверсии. Необходимость использования указанных программных средств продиктована сложностью структуры электромагнитного поля, характерного для двумерных геоэлектрических моделей.

4.4 Физическая сущность метода электротомографии подобна сущности метода вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ) и заключается в изменении соотношений между электрическими полями в точке наблюдения, которое создается питающими электродами на поверхности земли и на глубине h [ГОСТ Р 71757—2024 (пункт 4.5)]. Увеличение действующего разноса приводит к увеличению глубины исследования для метода электротомографии.

4.5 Максимальная глубина исследования для метода электротомографии зависит от строения грунтового массива, электрических свойств грунтов, типа используемой электроразведочной установки. Максимальная глубина исследования в методе электротомографии составляет в среднем примерно 0,4 от максимального действующего разноса [ГОСТ Р 71757—2024 (пункт 3.7)] и наблюдается в центре электротомографической косы, где реализуется максимальный действующий разнос.

5 Оборудование и основные электроразведочные установки

5.1 Оборудование при проведении инженерно-геофизических исследований методом электротомографии включает в себя электротомографическую станцию и электротомографическую косу (приложение А).

5.2 Электротомографическая станция состоит из следующих блоков:

- генератор зондирующих токовых сигналов, передаваемых в землю через питающие электроды;

- измерительное устройство, применяемое для определения разности электрических потенциалов на приемных электродах;
- коммутатор приемных и питающих электродов, соединяющий измерительные и генераторные каналы с соответствующими электродами на косе в соответствии с протоколом геофизических измерений (см. 3.4);
- устройство, управляющее в автоматическом режиме работой электротомографической станции, собирающее, обрабатывающее, визуализирующее и хранящее полученную информацию.

5.3 Электротомографическая коса, содержащая не менее 32 электродов, обеспечивает достаточную плотность измерений и разрешающую способность метода. Каждый электрод в составе электротомографической косы может использоваться как в режиме источника тока, так и в режиме измерения разности потенциалов. После установки и подключения всех электродов к станции формируется измерительная расстановка.

5.4 Для проведения инженерно-геофизических исследований методом электротомографии применяют электроразведочные установки, аналогичные для метода ВЭЗ [ГОСТ Р 71757—2024 (пункт 5.3)]:

- комбинированная трехэлектродная установка Шлюмберже;
- дипольная осевая установка зондирования;
- четырехэлектродная симметричная установка Шлюмберже;
- установка Веннера.

Допускается применение других типов установок при обосновании в программе инженерно-геологических изысканий [СП 446.1325800.2019 (пункт 4.5)].

Для повышения количества получаемых данных и качества геоэлектрических разрезов допускается применение нескольких установок одновременно.

5.4.1 Комбинированная трехэлектродная установка Шлюмберже является оптимальной для проведения инженерно-геофизических исследований, т. к. обеспечивает максимальную глубину исследования и обладает высокой разрешающей способностью.

5.4.2 Дипольная осевая установка зондирования обладает максимальной разрешающей способностью и высокой чувствительностью к неоднородностям изучаемой среды, что может приводить к неустойчивости двумерной инверсии данных, полученных с использованием этой установки. Для преодоления неустойчивости двумерной инверсии необходимо комбинирование данной установки с комбинированной трехэлектродной установкой Шлюмберже (5.4.1) или с четырехэлектродной симметричной установкой Шлюмберже (5.4.3). Кроме того, затухание сигнала в дипольной осевой установке подчиняется зависимости, при которой оно обратно пропорционально кубу действующего разноса. Это приводит к значительному возрастанию геометрического коэффициента установки с увеличением действующего разноса. Для поддержания достаточного уровня сигнала необходимо увеличивать длины приемных диполей.

5.4.3 Четырехэлектродная симметричная установка Шлюмберже является классической установкой для электрических зондирований, но обладает низкой разрешающей способностью к двумерным объектам. Применение этой установки целесообразно, когда невозможно проведение работ с использованием удаленного электрода. Ее допускается использовать только в качестве дополнительной установки для повышения устойчивости инверсии.

5.4.4 Установка Веннера обеспечивает максимальный уровень измеряемого сигнала, но она характеризуется самой низкой чувствительностью к приповерхностным и к глубинным объектам. Ее допускается использовать только в качестве дополнительной установки для повышения устойчивости инверсии.

5.5 Измерительные установки, применяемые при инженерно-геофизических исследованиях методом электротомографии, характеризуются следующими параметрами:

- количество электродов;
- шаг между электродами;
- общая длина расстановки;
- диапазон используемых действующих разносов;
- форма импульса электрического тока генератора;

- длительность импульса электрического тока генератора;
- число накоплений сигнала разности потенциалов электрического поля.

5.5.1 Количество используемых электродов в электротомографической косе определяется характеристиками применяемой электротомографической станции. Различные электротомографические станции поддерживают работу с электротомографическими косами, имеющими различное число электродов. При необходимости увеличения количества электродов в одной расстановке без замены станции применяют многосегментную методику электротомографии (см. 3.3).

5.5.2 Шаг между электродами на электротомографической косе составляет от 1 до 10 м (преимущественно используют шаг между электродами от 2 до 5 м).

5.5.3 Общая длина расстановки соответствует длине электротомографической косы и рассчитывается на основании шага между электродами и их общего количества.

5.5.4 Диапазон используемых действующих разносов определяется характеристиками электротомографической косы и протоколом геофизических измерений.

5.5.5 По форме импульсы электрического тока могут представлять собой меандр или прямоугольные разнополярные импульсы с паузами. Форма импульсов зависит от типа используемого генератора, формирующего зондирующие токовые сигналы. Допускается использовать гармонические сигналы частотой не более 8 Гц.

5.5.6 Длительность импульса влияет на скорость измерений. Измерения с увеличенной длительностью импульса характеризуются меньшей подверженностью искажениям, вызванным индукционными и промышленными помехами. При работе методом электротомографии следует использовать импульсы длиной не менее 200 мс (в условиях благоприятной помеховой обстановки допускается использовать импульсы менее 200 мс). Использование укороченных импульсов требует обязательного подтверждения отсутствия их негативного влияния на достоверность получаемых результатов. Для верификации корректности измерений с укороченным импульсом необходимо выполнить контрольный цикл измерений на одной и той же измерительной расстановке (5.3), используя:

- импульс стандартной длительности (200 мс);
- импульс укороченной длительности.

Результаты измерений подлежат сравнительному анализу для подтверждения сопоставимости данных и отсутствия значимых искажений, вызванных сокращением длительности импульса.

5.5.7 Число накоплений сигнала разности потенциалов электрического поля является параметром, позволяющим снижать влияние помех в зоне проведения измерений. Минимальное количество накоплений должно составлять 2 периода (включающих положительные и отрицательные импульсы). Данный показатель является базовым и обеспечивает контроль точности измерительного оборудования. При наличии индукционных и промышленных помех целесообразно увеличение количества накоплений. Это позволяет повысить качество получаемых данных за счет подавления влияния внешних возмущающих факторов и улучшения соотношения «сигнал—шум». Максимальное количество накоплений определяется техническими характеристиками и функциональными возможностями используемой электротомографической станции.

5.6 При проведении измерений с использованием электротомографической аппаратуры обязательным требованием является контроль значения тока в линии питающих электродов АВ. Этот контроль выполняют синхронно с регистрацией сигналов разности электрических напряжений в линиях приемных каналов MN. Указанное требование необходимо учитывать при планировании инженерно-геофизических исследований с применением выносных коммутаторов, предназначенных для автоматического переключения пар приемных и питающих электродов в электротомографических косах. Особую актуальность это имеет при использовании указанного оборудования в комплексе со стандартными одноканальными электроразведочными измерителями и генераторами, функционирующими в режиме стабилизированного тока. В подобных конфигурациях синхронное измерение тока в питающем канале и напряжения в приемных каналах выступает необходимым условием обеспечения достоверности получаемых данных и

корректности последующей интерпретации результатов электротомографических исследований.

5.7 Значение кажущегося удельного электрического сопротивления формально определяется значением геометрического коэффициента, разностью электрических потенциалов на приемных электродах и величиной силы электрического тока на питающих электродах. Разность потенциалов на приемных электродах пропорциональна величине силы питающего тока, при этом возможность регулирования тока в электротомографических станциях ограничена технологическими параметрами оборудования. В оптимальных условиях значение силы электрического тока не превышает нескольких сотен миллиампер (мА). В результате этого при больших разностях величина полезного сигнала (разности потенциалов электрического поля) может составлять не более 3—5 мВ. Оценку уровня качества сигнала в зависимости от значения геометрического коэффициента выполняют в соответствии с таблицей 1.

Т а б л и ц а 1—Оценка уровня качества сигнала в зависимости от значения геометрического коэффициента

Геометрический коэффициент, м	Уровень качества сигналов
До 5 000	Высокий
От 5 000 до 7 000	Хороший
От 7 000 до 10 000	Удовлетворительный
Более 10 000	Неудовлетворительный

Результаты измерений, полученные с применением установок, в которых геометрический коэффициент превышает 10 000 м, признаются несоответствующими требованиям к качеству данных и подлежат отбраковке.

5.8 Шаг смещения расстановки при работе на длинных профилях, длина которых превышает размер используемой электротомографической косы, определяется необходимостью обеспечения максимальной глубины исследования вдоль всего профиля, для чего осуществляется механический перенос

электротомографической косы. При этом значение шага смещения расстановки не должно превышать половины длины расстановки. Данное ограничение позволяет:

- обеспечить достаточную плотность измерений разности потенциалов электрического поля;
- минимизировать пропуски измерений разности потенциалов электрического поля в зоне исследования;
- сохранить требуемое перекрытие между последовательными позициями расстановки;
- гарантировать равномерность глубинности исследования по всей длине профиля.

Соблюдение установленной нормы шага смещения расстановки является обязательным условием для получения качественных данных и последующей корректной интерпретации результатов электротомографии.

6 Подготовка и проведение измерений

6.1 При инженерно-геофизических исследованиях методом электротомографии в двумерном варианте выполняют измерения по профилю или по системе профилей на площади. Перед началом исследований методом электротомографии определяют тип и параметры измерительной установки (5.4, 5.5).

6.2 Выполняют развертывание электроразведочной косы, заземление электродов и подсоединение электродов к электроразведочной косе. Определяют расстояние между электродами с помощью геодезического оборудования или непосредственно по меткам на косе. Определяют фактическую длину профиля (см. 3.7). Электротомографическую косу необходимо раскладывать по прямой линии, с отклонением от нее не более 10° в плане.

6.3 При использовании трехэлектродной электроразведочной установки выполняют заземление электрода, который является «бесконечностью». Положение электрода «бесконечность» определяют в зависимости от условий проведения работ (рельеф местности, геоэлектрические свойства грунтов, наличие техногенных помех и иных факторов) и требований в применяемой методике измерений. Фактическое

местоположение электрода «бесконечность» должно определяться с допустимой ошибкой не более 10 % расстояния между центром расстановки и этим электродом.

6.4 Выполняют обязательную оценку качества заземления каждого электрода расстановки. Величина переходного сопротивления заземления является контролируемым параметром, который зависит от условий проведения измерений (влажности и температуры грунта, его гранулометрического состава, плотности контакта электрода с грунтом и т.д.) и технических характеристик применяемого оборудования (входное сопротивление, выходной ток и др.). В обычных условиях эксплуатации переходное сопротивление для каждого отдельного электрода не должно превышать 5 кОм. При использовании применяемого оборудования с входным сопротивлением 100 МОм и более допускается увеличение предельно допустимого значения переходного сопротивления до 20 кОм.

При необходимости уменьшения сопротивления заземления руководствуются положениями ГОСТ Р 71757—2024 (пункт 6.4).

6.5 Выбирают протокол геофизических измерений, длительность и форму импульса, число накоплений. Задают выходное напряжение генератора или амплитуду тока в питающей линии.

Значение тока в питающей линии оказывает прямое влияние на соотношение «сигнал—шум»: увеличение тока способствует улучшению данного показателя и повышению достоверности получаемых данных. При высоком уровне сигнала на малых действующих разносах возникает риск перегрузки динамического диапазона входных усилителей и аналого-цифрового преобразователя измерителя, что может привести к искажению регистрируемых данных и снижению точности измерений. В этом случае следует использовать два отдельных протокола: первый — для измерения на малых разносах с пониженными выходными параметрами генератора, исключающими перегрузку измерительных каналов; второй — для измерения на больших разносах с повышенными выходными параметрами генератора для обеспечения достаточного уровня сигнала.

6.6 Перед началом измерений обязательным этапом является выполнение опытных измерений для комплексной проверки качества регистрируемого сигнала,

оценки уровня фоновых помех (шума) и верификации работоспособности применяемого геофизического оборудования.

6.7 Измерения проводят в автоматическом режиме. Следят за уровнем измеряемого сигнала, силой тока в линии АВ и за напряжением аккумулятора (который является источником питания электротомографической станции), если аппаратура позволяет это визуализировать. При выявлении отклонений от установленных значений параметров необходимо приостановить измерения, выявить причину проблемы и принять меры по ее устранению.

6.8 Необходимо выполнять планово-высотную привязку электротомографического профиля [СП 317.1325800.2017 (пункт 5.3.6)].

6.9 Результатами измерений являются разность электрических потенциалов в линии MN, сила электрического тока в линии АВ и порядковые номера электродов, участвующих в измерении. Результаты измерений записывают в файл.

6.10 После проведения измерений необходимо провести оценку качества результатов измерений, которую выполняют в целях выявления возможных искажений, вызванных утечкой электрического тока в элементах измерительной цепи. При анализе результатов измерений следует обращать внимание на аномальные значения кажущихся удельных электрических сопротивлений, локализацию этих аномалий в непосредственной близости от места размещения электроразведочной станции, аномальные значения параметров тока и напряжения, относящихся к одним и тем же электродам. При обнаружении таких искажений необходимо устранить причины их возникновения и выполнить повторные измерения. Оценка качества данных допускается проводить камерально, после окончания полевых работ.

7 Обработка результатов измерений

7.1 Выполняют редактирование плановых координат и высотных отметок электродов с учетом данных планово-высотной привязки электротомографического профиля (6.8).

7.2 Рассчитывают значения кажущихся удельных электрических сопротивлений для всех измеренных пар приемных диполей.

7.3 В случае выполнения измерений на одной расстановке с использованием различных электроразведочных установок осуществляют объединение результатов измерений.

7.4 При наличии нескольких расстановок вдоль исследуемого геофизического профиля выполняют объединение результатов измерений, полученных для каждой расстановки.

7.5 При использовании трехэлектродной установки, при необходимости, вводят поправки, связанные с положением электрода «бесконечность».

7.6 Результатом полевых наблюдений является псевдоразрез кажущегося сопротивления (приложение Б).

7.7 При наличии рельефа с уклоном выше 10° — 15° входными данными для программы инверсии являются не кажущиеся удельные электрические сопротивление, а кажущиеся омические сопротивления dU/I . Кажущееся удельное электрическое сопротивление зависит от геометрического коэффициента, который в случае рельефа с уклоном выше 10° — 15° определяется неоднозначно. При таких условиях кажущееся омическое сопротивление является однозначным входным параметром для двумерной инверсии, в отличие от кажущегося удельного электрического сопротивления.

8 Интерпретация данных

8.1 Интерпретацию результатов электротомографических исследований начинают с выполнения двумерной инверсии. Основная задача двумерной инверсии состоит в автоматическом подборе пространственного распределения удельного электрического сопротивления в геоэлектрическом разрезе, обеспечивающего максимально возможное соответствие между теоретически рассчитанными псевдорезами кажущегося удельного электрического сопротивления, полученными на основе математического моделирования, и наблюдаемыми псевдорезами кажущегося удельного электрического сопротивления, рассчитанного по данным, измеренным вдоль геофизического профиля в ходе полевых измерений.

8.2 Для выполнения двумерной инверсии в программе двумерной инверсии формируют начальную модель распределения удельных электрических сопротивлений в разрезе. Загружают в программу двумерной инверсии псевдоразрез кажущегося сопротивления, полученный в результате обработки (7.6, 7.7).

Далее при работе итерационного алгоритма с применением программы двумерной инверсии:

- выполняют прямое моделирование — рассчитывают теоретические значения кажущихся удельных электрических сопротивлений и строят соответствующий псевдоразрез для заданной модели;

- сравнивают теоретические данные с наблюдаемыми, вычисляя функционал невязки (например, среднеквадратическое отклонение между расчетными и измеренными значениями);

- корректируют модель распределения удельных электрических сопротивлений в целях минимизации невязки.

8.3 Критериями успешного завершения инверсии являются:

- достижение заданного порога невязки между расчетными и наблюдаемыми данными (обычно не более 5 %—10 %);

- физическая обоснованность полученной модели (отсутствие нелогичных аномалий, соответствие априорной геологической информации);

- устойчивость решения при варьировании начальных параметров инверсии.

Результатом двумерной инверсии является геоэлектрический разрез (приложение В), который:

- адекватно отражает реальные геоэлектрические неоднородности грунтового массива;

- служит основой для инженерно-геологической интерпретации (выделения слоев грунтов, зон повышенной/пониженной электрической проводимости, тектонических нарушений и др.).

8.4 Формирование стартовой модели включает в себя выделение структурных блоков, соответствующих предполагаемым геологическим телам или горизонтам,

задание для каждого блока фиксированных значений удельного электрического сопротивления на основе:

- информации о литологическом составе грунтов;
- информации о гидрогеологических условиях участка;
- результатов лабораторных исследований грунтов;
- инженерно-геологических карт и разрезов;
- данных предшествующих инженерно-геофизических исследований.

8.5 На участках с относительно однородным геоэлектрическим строением допускается выполнение одномерной интерпретации отдельных кривых ВЭЗ или кривых, полученных при осреднении нескольких кривых ВЭЗ. Результаты одномерной интерпретации могут быть использованы для уточнения начальной модели двумерной инверсии.

8.6 При построении геоэлектрического разреза необходимо обеспечить корректное отображение данных посредством:

- использования градиентной шкалы, обеспечивающей четкую дифференциацию значений удельных электрических сопротивлений;
- обеспечения наглядности при выделении контрастных геоэлектрических аномалий;
- соблюдения пропорциональности между горизонтальным и вертикальным масштабами (с учетом глубины исследования и длины профиля);
- нанесение координатной сетки с отметками расстояния вдоль профиля и глубины;
- указания диапазона отображаемых значений удельных электрических сопротивлений и соответствующей цветовой легенды.

8.7 Двумерная инверсия предназначена для решения обратной геофизической задачи. Алгоритм двумерной инверсии стремится к построению сглаженного распределения удельных электрических сопротивлений с наименьшей контрастностью модели. Это приводит к снижению амплитуды аномалий

сопротивления по сравнению с реальными значениями, размыванию резких границ между слоями с различными электрофизическими свойствами и завышению мощностей контрастных слоев. Указанные особенности необходимо учитывать при последующем сопоставлении полученных геоэлектрических разрезов с имеющейся инженерно-геологической информацией.

8.8 Результатом интерпретации является сопоставление полученного геоэлектрического разреза с имеющейся инженерно-геологической информацией. Согласно СП 446.1325800.2019 (таблица Г.2) результатами, представляемыми в техническом отчете, являются геолого-геофизические разрезы, геоэлектрические разрезы.

Приложение А

(рекомендуемое)

Схема оборудования при проведении инженерно-геофизических исследований методом электротомографии

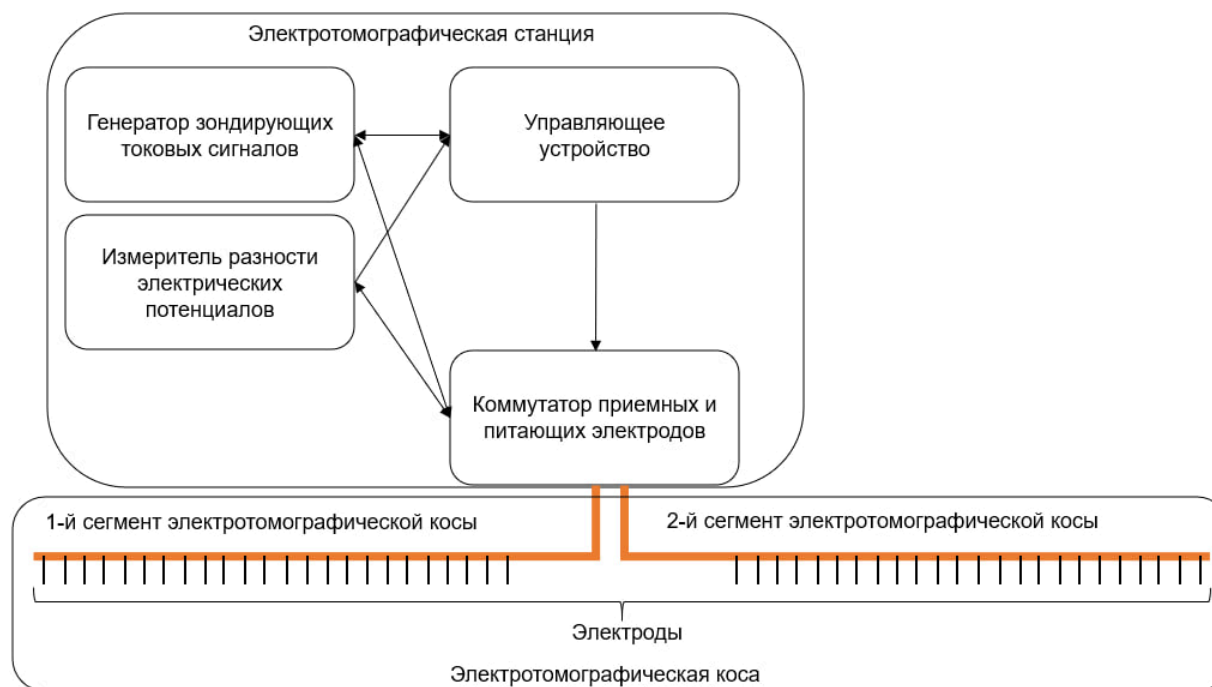
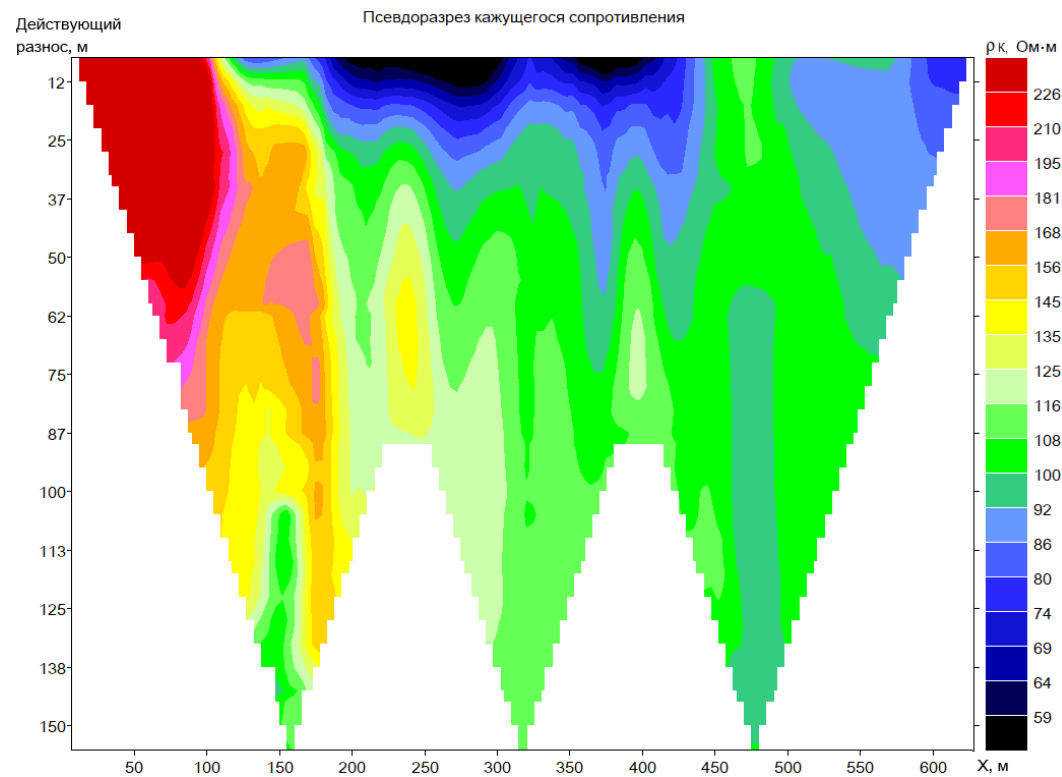


Рисунок А.1

Приложение Б (рекомендуемое)

Пример графического оформления псевдоразреза кажущегося сопротивления

Результаты полевых наблюдений оформляют в соответствии с рисунком Б.1.

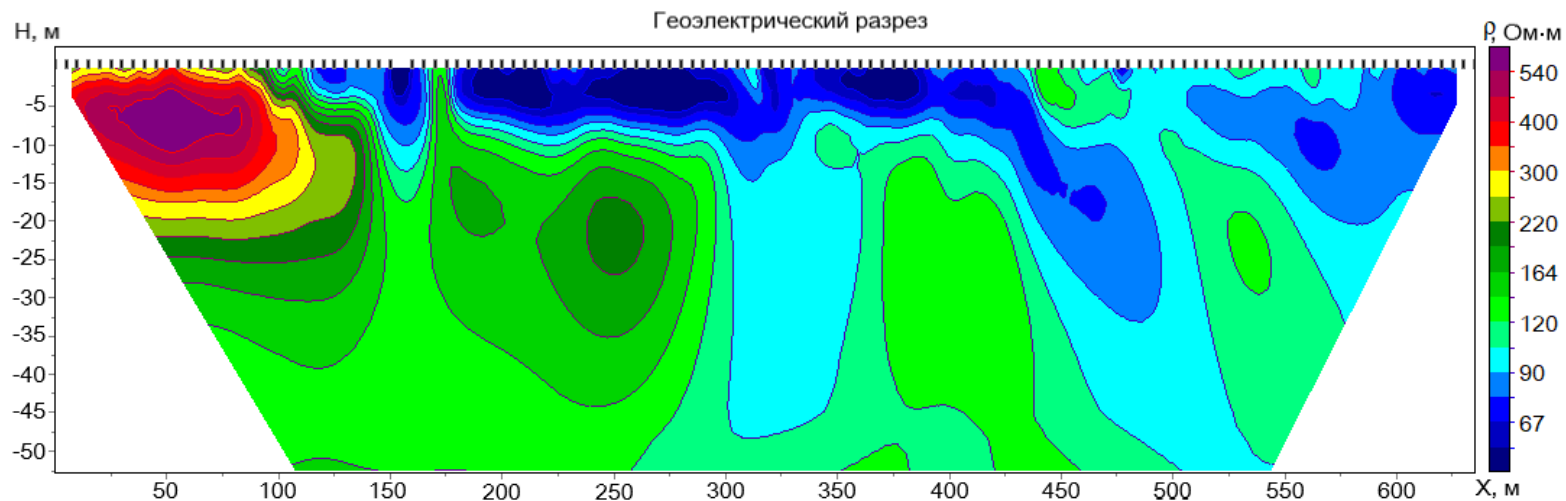


X — длина геофизического профиля; ρ_k — кажущееся удельное электрическое сопротивление

Рисунок Б.1

Приложение В
(рекомендуемое)
Пример графического оформления геоэлектрического разреза

Результаты двумерной инверсии оформляют в соответствии с рисунком В.1.



H — глубина исследования; X — длина геофизического профиля; ρ — удельное электрическое сопротивление

Рисунок В.1

УДК 550.837:006.354

ОКС 93.020

Ключевые слова: инженерные изыскания, инженерно-геофизические исследования, электротомография, удельное электрическое сопротивление, кажущееся удельное электрическое сопротивление, кажущееся электрическое сопротивление

ИСПОЛНИТЕЛЬ:

ООО «ИГИИС»

Руководитель
разработки

Генеральный
директор



М.И. Богданов

Ответственный
исполнитель

Главный специалист
отдела инженерно-
геологических
изысканий



И.Н. Модин