ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

УТВЕРЖДАЮ:
Зам.директора института
А.КУЧКО

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ГЕОФИЗИЧЕСКОМУ ОБСЛЕДОВАНИЮ НАСЫПЕЙ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Москва 1975

gost.e-ecolog.ru

П Р Е Д И С Л О В И Е

В Методических рекомендациях приведены основные задачи геофизики при обследовании насыпей железных дорог, методы и техника обследований, технология работ и применяемая аппаратура; установлены специфические трудности для постановки геофизических исследований и пути их преодоления; указаны способы интерпретации полученных материалов, точность определений искомых параметров и необходимые конструктивные изменения существующих образцов оборудования и аппаратуры с учетом специфики работ на насыпях действующих железных дорог.

Методические рекомендации разработаны в лаборатории инженерной геологии и геофизики ЦНИИСа инж.В.Я.Пригодой. Методика сейсмического обследования насыпей составлена старшим научным сотрудником земляного полотна ЦНИИ МПС канд.техн.наук Г.Г.Коншиным.

Работа предназначена для геофизиков и геологов проектно-изыскательских институтов Минтрансстроя, путеобследовательских станций, желдорпроектов и Гипротранспути МПС.

Замечания и предложения направлять по адресу: Москва, И-329, Игарский проезд 2, ЦНИИС.

Зам.директора института А.КУЧКО

И.О.руководителя отделения изысканий и проектирования железных дорог В.БЫКОВ

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. В настоящее время при инженерно-геологическом обследовании насыпей существующего пути проводят визуальные и инструментальные наблюдения за состоянием земляного полотна, закладывают неглубокие шурфы (копуши , закопушки), делают расчистки и прорези, бурят скважины, применяют геофизические методы разведки [I] . При проходке выработок берут пробы грунта для определения гранулометрического состава, влажности, плотности, пределов пластичности и др.

I.2. Проходка шурфов и скважин на насыпях действующих железных дорог нарушает целостность земляного полотна и на участках линий, характеризующихся большой грузонапряженностью и повышенными скоростями движения поездов, создает опасность проведения работ. Применение геофизических методов позволяет в значительной степени сократить объемы трудоемких буровых и шурфовочных работ, снизить стоимость работ в целом и, что особенно важно, повысить безопасность проведения обследований.

I.3. Геофизические работы выполняют в комплексе с геологическими, а в ряде случаев - самостоятельно с учетом имеющихся геологических данных.

I.4. При выполнении геофизических работ на действующих линиях необходимо руководствоваться существующими правилами техники безопасности и производственной санитарии [2,3]. Персонал геофизической партии или отряда должен знать правила технической эксплуатации железных дорог[4], "Инструкцию по сигнализации на железных дорогах Союза ССР"[5] и "Инструкцию по технике безопасности при геофизических работах"[6].

2. ЗАДАЧИ,МЕТОДЫ И ОСОБЕННОСТИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ОБСЛЕДОВАНИЙ

Задачи и методы геофизики

2.I. Задачи обследования основной площадки:

установление толщины балластного слоя;

определение мощности и неоднородности дренирующего слоя грунта;

выявление и оконтуривание балластных ложе, корыт, грязевых мешков и гнезд; установление их размеров и конфигурации.

2.2. Задачи обследования откосов и тела насыпи:

определение мощности и площади распространения балластных шлейфов на откосах насыпей;

расчленение тела насыпи по литологическому составу и состоянию грунтов;

выявление и оконтуривание ослабленных зон и линз обводненных грунтов в теле насыпи;

установление величины осадки и конфигурации подошвы насыпи, возведенной на слабых грунтах (илах, торфе, сапропелях и др.) или на мерзлом протаивающем основании;

выявление и оконтуривание линз мерзлых грунтов и льда в теле насыпи.

2.3. Задачи обследования основания насыпи:

расчленение грунтов по литологическому составу и состоянию;

выявление и оконтуривание закарстованных зон, мерзлых грунтов, подземных льдов, перелетков и других новообразований;

установление водоносных горизонтов.

2.4. *Для решения указанных задач применяют:*

симметричные и трехэлектродные вертикальные электрические зондирования (ВЭЗ) с установками AMNB и AMN,B→∞;

симметричное электропрофилирование (ЭП) с двумя разносами питающих линий по схеме $A\,A^{1}MNB^{1}B$;

электроконтактное зондирование (ЭКЗ) в сочетании с динамической пенетрацией грунтов;

сейсморазведку методом преломленных волн (КМПВ).

Особенности электроразведки

2.5. При выполнении электроразведки, обработке результатов наблюдений и интерпретации получаемых материалов

необходимо учитывать влияние следующих факторов:

конфигурации насыпи (формы поперечного сечения и высоты);

электрического поля, создаваемого в теле насыпи установками сигнализации и электрификации железных дорог;

рельсовых нитей.

Перечисленные факторы влияют в основном на результаты измерений методами ВЭЗ и ЭП.

2.7. Влияние конфигурации насыпей. Железнодорожную насыпь можно уподобить положительной форме рельефа в виде бесконечно вытянутой трапецеидальной призмы. Вследствие экранирующего действия откосов плотность тока искусственно создаваемых электрических полей увеличивается, в результате чего электрические параметры, измеряемые с установками ВЭЗ и ЭП, будут искаженными. Чем выше насыпи и круче откосы, тем больше искажения.

2.8. Минимальное влияние конфигурации насыпи наблюдается при расположении установок ВЭЗ и ЭП вдоль земляного полотна. Изменение кажущихся удельных электрических сопротивлений определяют из выражения

$$\rho_к = \frac{j}{j_0} \cdot \rho_{к0} \quad , \qquad (I)$$

где j – плотность тока в насыпи между приемными электродами MN;

j_0 и $\rho_{к0}$ – соответственно плотность тока и значение кажущихся сопротивлений при плоской границе раздела земля–воздух.

С увеличением высоты насыпи и разносов питающих линий (до некоторого предела) плотность тока j возрастает, а, следовательно, возрастает и значение $\rho_к$ при одном и том же сопротивлении исследуемого грунта.

Наиболее значительные искажения наблюдаются на однопутных насыпях с минимальной шириной основной площадки и максимальной крутизной откосов.

2.9. Величину искажений, создаваемых конфигурацией однопутной насыпи с шириной основной площадки 5,5 м и кру-

тизной откосов I:I,5, можно определить по графикам изменения $\frac{\rho_к}{\rho_{к_0}}$ в зависимости от высоты насыпи и величины полуразносов питающих линий установок ВЭЗ и ЭП (рис.I). Эти графики составлены на основании статистической обработки результатов исследований, полученных на 45 моделях насыпей, построенных из однородных грунтов в масштабе 1:25 к натуральной величине насыпи. Установки ВЭЗ и ЭП при проведении исследований располагались вдоль оси насыпи. Анализ проведенных графиков показывает:

искажения кажущихся сопротивлений при величине разносов питающих линий, меньших ширины основной площадки, можно практически не учитывать;

с увеличением разносов и высоты насыпей искажения сначала увеличиваются, а затем, после определенных для каждой высоты насыпи отношений $\frac{AB}{2L}$, уменьшаются;

максимальные значения $\frac{\rho_к}{\rho_{к_0}}$ = I,06;I,08;I,I5;1,30;I,60; I,90;2,20 отмечаются для насыпей высотой $H_н$ = 0,5;I;2; 3;6;9;I2 м при $\frac{AB}{2L}$ =I,25;I,30;I,35;I,45;I,90;2,5;

при $\frac{AB}{2L}$ большем 4,5,8,I5 и 30 для насыпей соответственно высотой 0,5;I;2;3 и 6 м искажения составляют менее I0% и их можно не учитывать;

насыпи высотой до I м на результаты измерений практически влияния не оказывают;

при обследовании насыпей высотой более I м для определения удельных электрических сопротивлений исследуемых грунтов в полученные значения $\rho_к$ необходимо вносить поправки за искажения, определяемые по рис.I.

Значения $\frac{AB}{2L}$ для максимальных и минимальных значений $\frac{\rho_к}{\rho_{к_0}}$ при высоте насыпи 6,9 и I2 м определены интерполяцией полученных графиков.

2.I0. Искажения $\rho_к$ у бровок насыпи больше, чем на оси пути. Они зависят от крутизны откосов и удаления установок ВЭЗ и ЭП от бровки.

Оценить величину искажений у бровок насыпи при разной крутизне откосов можно по результатам опытных исследова-

ний, проведенных на моделях насыпей в Ленгипротрансе.[I] (рис.2).

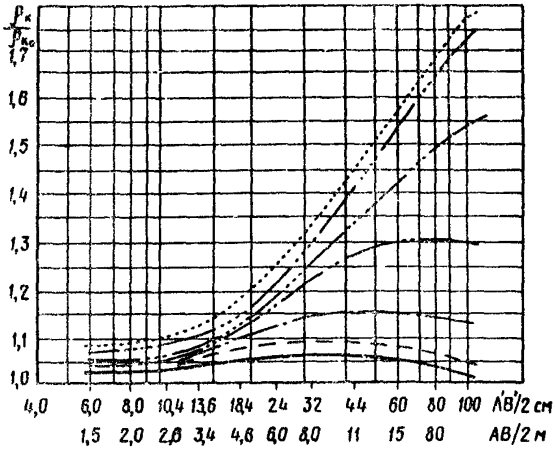


Рис.I. Зависимость $\frac{\rho_к}{\rho_{к_0}}$ от высоты насыпи и полуразносов питающих линий $\frac{AB}{2}$ м:

·····h=48, $H_н$=I2, L=4I; —·····h=36, $H_н$=9, L=33;
—·····h=24, $H_н$=6, L=24; —·—·h=I2, $H_н$=3, L=I4,5;
—·—h=8, $H_н$=2, L=II,5 — —h=4, $H_н$=I, L=8,8;
——h=2, $H_н$=0,5, L=6

h – высота модели насыпи, см; $\frac{A'B'}{2}$ – полуразносы питающих линий экспериментальной установки, см; L – ширина основания насыпи в натуре, м

Искажения, полученные в I,5 м от бровки крутого склона с уклоном I:I,28(38°), на 7–I0% больше, чем на оси пути; искажения у пологого склона с уклоном I:2(27°) больше на 3–5%. Величину искажений с промежуточными уклонами склонов получают интерполяцией приведенных графиков.

2.II. Влияние конфигурации насыпи сказывается, в основном, на определении удельных электрических сопротивлений исследуемых слоев грунта и в меньшей степени – на определении глубины их залегания.

I Работы выполнены Шкилевским П.А. и Гребешевым В.М.

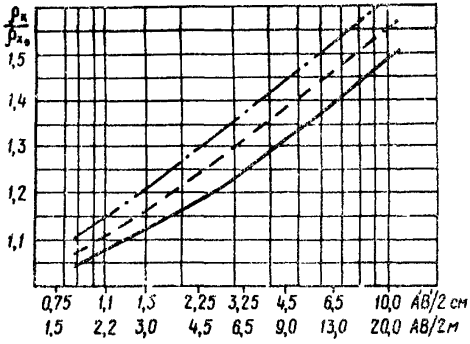


Рис.2. Зависимость $\frac{\rho_к}{\rho_{к_0}}$ от крутизны откосов насыпи и места расположения измерительной установки на основной площадке

—— на оси пути; – – –на расстоянии 1,5м от бровки пологого склона (уклон 1:1,28); —·— то же крутого склона (уклон 1:2))

2.12. По результатам электрических исследований, выполненных на моделях насыпей методами симметричного, дипольного и комбинированного ЭП, трехэлектродного и симметричного ВЭЗ, установлено, что влияние конфигурации насыпей наименьшей мере сказывается на результатах исследований, полученных с симметричными установками, которые и рекомендуется применять при обследовании насыпей.

2.13. В л и я н и е п о л я с и г н а л и з а ц и и э л е к т р и ф и к а ц и и ж е л е з н ы х д о р о г. Электрические поля, возникающие в теле насыпи в результате действия установок электрификации и сигнализации железных дорог, создают помехи, влияющие на результаты электрометрических исследований.

Помехи непостоянны во времени и зависят от нахождения локомотивов относительно участков исследуемого пути и положения устройств автоблокировки, а также от режима работ электровозов, тяговых подстанций и системы сигнализации.

Кроме того, величина помех зависит от системы тока и

уровня напряжения электрифицированных дорог, схемы рельсовых цепей, характера кода работы светофоров, удаления участков работ от изолирующих рельсовых стыков и типа применяемой измерительной геофизической аппаратуры.

Наибольшие помехи, обусловленные электрификацией и сигнализацией железных дорог на постоянном токе, наблюдаются у изолирующих рельсовых стыков при зеленом сигнале светофора и наличии локомотива на перегоне, наименьшие – на неэлектрифицированных дорогах при желтом или красном сигналах светофора.

2.I4. Характер распределения помех, обусловленных полем сигнализации на постоянном токе у изолирующего стыка, рассмотрен в работе Болдырева И.В. [7].

Относительная погрешность результатов измерений на расстоянии 3–5 м от изолирующего стыка вдоль оси пути при зеленом сигнале светофора достигает 98–99%. Этот участок насыпи нужно обследовать бурением скважин или проходкой шурфов. При удалении измерительной установки от стыка погрешность уменьшается. На расстоянии, большем длины измерительной установки, помехи практически не влияют на результаты измерений.

2.I5. Максимальные погрешности вкрест оси пути наблюдаются в пределах основной площадки. С увеличением размеров установки помехи растут. При удалении от оси пути на расстояние, большее размера установки, влияние помех практически отсутствует [7].

2.I6. На участках, удаленных от изолирующих стыков, характер изменения помех перпендикулярно оси однопутной и двухпутных дорог, электрифицированных на переменном токе, показан на рис.3. Помехи определялись по среднему значению падения напряжения $\Delta V_{ср.}$ на приемной линии MN длиной 2,7 м. Уровень помех отсчитывался по среднему положению колеблющейся стрелки, а амплитуда – по разнице между ее наибольшим и наименьшим отклонениям.

Максимальное значение величин помех наблюдается у рельсовых нитей и достигает 300 мВ при измерениях на приборе ЭСК-I и 5 мВ – на приемнике АНЧ-I. За пределами ос-

новной площадки влияние помех резко снижается, и на расстоянии от оси пути 7 м и более помехи практически отсутствуют.

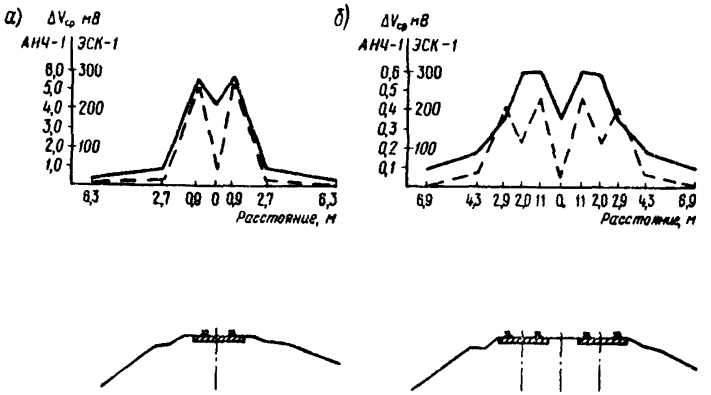


Рис.3. Характер распределения помех перпендикулярно оси однопутной (а) и двухпутной (б) железных дорог, электрифицированных на переменном токе
——— величины помех, полученные на ЭСК-I
– – – то же на АНЧ-I

Характер изменения амплитуд помех аналогичен характеру изменения среднего уровня помех, но значение амплитуд значительно меньше. Максимальное значение амплитуд достигает I5 мв при измерении на ЭСК-I и 3 мВ – на АНЧ-I.

Помехи не постоянны во времени. Величина их в течении 5 мин изменяется на 20–30%.

2.I7. Для обследования основной площадки электрифицированных дорог применяют низкочастотную аппаратуру АНЧ-I или ИКС-I. При обследовании откосов и основания насыпи применяют также аппаратуру на постоянном токе: ЭП-I; ЭСК-I, ЭСК-7I или АЭ-72. Если уровень помех превышает одну треть величины полезного сигнала, электроразведочные работы прекращают.

На расстоянии 3–5 м от изолирующего стыка проводят только геологическое обследование земляного полотна.

Для обследования насыпей неэлектрифицированных дорог

применяют электроразведочную аппаратуру как на переменном, так и на постоянном токе.

2.18. Влияние рельсовых нитей.

Влияние рельсовых нитей на результаты электрометрических исследований можно рассматривать в двух аспектах. С одной стороны, контакт рельсов с балластным слоем способствует утечке тока в грунт от рельсовых цепей сигнализации и от выпрямителей тяговых двигателей электровоза. С другой стороны, он способствует утечке тока электрического поля, искусственно создаваемого электрометрическими установками, из грунта в рельсы, что приводит к уменьшению плотности тока в области приемных электродов, в результате чего измеряемые величины кажущихся сопротивлений получаются заниженными. Утечки в обоих случаях зависят от переходных сопротивлений между рельсовыми нитями и грунтами верхней части насыпи, которые во многом определяются состоянием шпал.

2.19. Влияние рельсовых нитей, обусловленное утечкой тока в тело насыпи от устройств сигнализации и двигателей электровозов, сказывается на уровне электрических помех, который измеряют и учитывают при проведении полевых электрометрических исследований.

2.20. Влияние рельсовых нитей на распределение тока, создаваемого электрометрическими установками, можно определить по результатам исследований на моделях насыпей, выполненных для случая, когда основание рельсов контактирует с исследуемым грунтом. Влияние рельсовых нитей зависит от полуразносов питающих линий, ширины колеи и не зависит от высоты насыпи. График изменения значений кажущихся сопротивлений в результате влияния рельсовых нитей приведен на рис.4. Искажения сопротивлений наблюдаются в интервале разносов от $AB = 2{,}5c$ до $AB = 35c$ (c – ширина колеи). Максимальное искажение наблюдается при $AB = 12c$ и составляет 10%. На участках дорог, где переходные сопротивления между рельсами и грунтом насыпи высокие, влияние рельсовых нитей не учитывают.

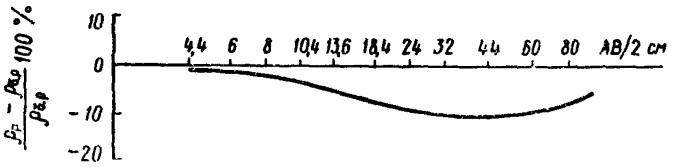


Рис.4. Влияние рельсовых нитей на результаты электрометрических измерений:

$\rho_{б.р.}$ - кажущееся сопротивление, измеренное без рельсов; $\rho_р$ - то же при наличии рельсов

Особенности сейсморазведки

2.21. Проведение сейсморазведки при обследовании насыпей имеет специфические особенности, обусловленные:

влиянием помех от переменных токов сигнализации, протекающих в рельсовых нитях;

влиянием высокочастотной рельсовой волны;

присутствием на записях звуковой волны;

наличием шпал и щебня на основной площадке.

2.22. Электрические помехи в рельсовых нитях представляют собой группу периодических колебаний с частотой 50 Гц и длительностью 0,2-0,3 с. Интенсивность помех зависит от расстояния между пунктом возбуждения и сейсмоприемником и удаления их от рельсовых нитей [8]. При сейсмическом профилировании вблизи рельсовых нитей помехи затрудняют регистрацию первых вступлений упругих волн только в случае попадания полезной части записи в интервал помех. Это приводит к необходимости повторной регистрации показаний.

2.23. Высокоскоростная ($V>5000$ м/с) высокочастотная (f = 300-500 Гц) волна, обусловленная распространением колебаний в рельсах, затрудняет регистрацию полезных волн [8]. При использовании сейсмостанций эти помехи ликвидируются включением частотных фильтров.

2.24. Звуковая волна находится на осциллограммах как правило вблизи первых вступлений и имеет скорость распрос-

травления, близкую к грунтовой волне, но отличается от полезной волны более высокой частотой колебаний (ν=250-300Гц). Шпалы вносят искажения волновой картины, в результате чего первые вступления волн на фоне помех практически невозможно обработать. Применение фильтраций позволяет значительно ослабить влияние звуковой волны и помех от шпал.

2.25. Экспериментально установлено, что для уменьшения влияния помех необходимо для станции СС-24П вводить частотную фильтрацию ФНЧ-90, ФВЧ-65, а для станции "Поиск-I-6/I2 АСМ-ОВ" - ФНЧ-I00 и ФВЧ-50. В этом случае полоса пропускания полезных волн составит около 60-I00 Гц.

2.26. По оси пути и междупутью искажающее влияние помех меньше. Первые вступления от 5-6 сейсмоприемников прослеживаются даже без включенной фильтрации, хотя далее выделение их на последующих записях было затруднено. Поэтому интерпретация проводится для последующей надежной фазы головной волны с учетом поправки на эту фазу.

С удалением от рельсошпальной решетки, начиная от обочины основной площадки, помехи отсутствуют и сейсмические работы проводятся без включения блока фильтрации.

При сейсмической разведке откосов насыпей помехи практически не наблюдаются. Это позволяет использовать сейсмическую аппаратуру без включенной фильтрации. Качество записей упругих волн получается удовлетворительным, первые вступления волн на осциллограммах четко прослеживаются.

2.27. При щебеночной балластной призме контакт сейсмоприемников со щебнем неудовлетворительный. В таких случаях в местах установки сейсмоприемников по пути необходимо делать небольшие лунки в щебне, засыпать их рыхлым грунтом и затем устанавливать в них сейсмоприемники. Иногда целесообразно сейсмоприемники устанавливать на металлические диски. Минимальное расстояние между сейсмоприемниками вдоль профиля в зоне рельсошпальной решетки составляет ΔX = 50-55 см (между двумя соседними шпальными ящиками).

2.28. Наличие на границе между балластным слоем и грунтом насыпи прослойки водонасыщенного песка является экраном для исследования более глубоких слоев грунта.

3. ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКА

Вертикальные электрические зондирования (ВЭЗ)

3.I. Основными задачами обследований насыпей методом ВЭЗ являются:

расчленение грунтов насыпи и основания по литологическому составу и состоянию;

установление величины осадки и конфигурации подошвы насыпи, возведенной на слабых грунтах (илах, торфе, сапропелях, ильдиевых глинах и др.) или на мерзлом протаивающем основании;

выявление мерзлых грунтов, определение их мощности и глубины залегания;

выявление закарстованных зон в грунтах основания насыпи;

определение мощности оползневых тел, осыпей, курумов на косогорах и др.

3.2. Для решения указанных задач применяют симметричные и трехэлектродные установки ВЭЗ. Трехэлектродные установки используют на участках, примыкающих к искусственным сооружениям (тоннелям, мостам, водопропускным трубам и др.), и на высоких насыпях с малым радиусом кривых (от I50 до 500 м). Разносы питающих и приемных линий во всех случаях ориентируют вдоль земляного полотна. "Бесконечность" трехэлектродных установок выносят перпендикулярно оси пути на расстояние не менее 5АВ.

3.3. Отношения последующих и предыдущих разносов питающих линий рекомендуется принимать равными от I,2 до I,4. Расстояния между приемными электродами выбирают согласно условию $\frac{I}{20}\,AB < MN < \frac{I}{3}\,AB$. Окончательный выбор значений полуразносов питающих АВ и приемных MN линий определяется расстояниями между осями шпальных ящиков, величина которых зависит от количества шпал, уложенных на I км пути.

На железных дорогах, согласно СНиП П-Б.I-62, в зависимости от их категории укладывают I600, I840 и 2000 шпал

на I км. Расчетные значения полуразносов приемных и питающих линий и коэффициентов установок ВЭЗ при разном количестве шпал на I км приведены в табл.I.

На участках с неравномерной укладкой шпал места заземлений приемных и питающих электродов часто не попадают в шпальные ящики. В этих случаях при АВ<I2 м центр установок смещают относительно намеченной точки наблюдений на I-2 шпальных ящика или пересчитывают коэффициенты установок в зависимости от изменения длины питающих и приемных линий. При АВ > I2 м достаточно переместить на ширину шпалы только отдельные электроды в сторону уменьшения разносов питающих линий. Ошибки в определении коэффициента K при этом не превышают 2-3%.

3.4. При обследовании насыпей электрифицированных дорог на постоянном и переменном токе применяют низкочастотную аппаратуру АНЧ и ИКС. На откосах высоких насыпей электрифицированных дорог и на участках неэлектрифицированных дорог применяют также аппаратуру на постоянном токе: ЭП-I, ЭСК-I, ЭСК-7I или АЭ-72 (ЭСК-2М).

В качестве приемных и питающих электродов используют соответственно латунные и стальные стержни диаметром 20-30 мм и длиной 300-400 мм.

Вместо катушек применяют плоские деревянные или металлические рамы с изолированными гнездами, предназначенными для подключения питающих электродов. Конструкция деревянной рамы-катушки приведена на рис.5. Катушка с проводом не превышает головки рельса и может оставаться на месте при подходе поезда.

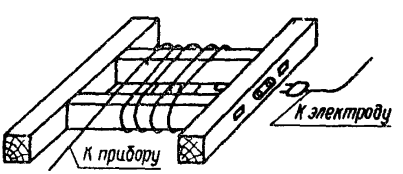


Рис.5.Деревянная рама-катушка, используемая при электрометрических обследованиях основной площадки насыпей

3.5. Технология выполнения работ методом ВЭЗ на откосах и у основания насыпей стандартная. При выполнении работ на основной площадке измерительную аппара-

Таблица I

Количество шпал на I км пути

n = I 600				n = I 840				n = 2 000			
MN	AB/2	K_c	$K_{тр.}$	MN	AB/2	K_c	$K_{тр.}$	MN	AB/2	K_c	$K_{тр.}$
I,2	I,25	3,I4	6,28	I	I,7	8,25	I6,50	I	I,5	6,3	I2,6
I,2	I,9	8,5	I7,0	I	2,2	I4,35	28,7	I	2,0	II,8	23,6
I,2	2,5	I5,4	30,8	I	2,8	23,8	47,6	I	2,5	I8,8	37,6
I,2	3,I	24,2	48,4	I	3,35	34,5	69,0	I	3,5	37,6	75,2
I,2	4,4	49,7	99,4	I	4,4	60	I20	I	4,5	62,8	I25,6
I,2	6,25	I0I	202	I	6,05	II3	226	I	6,0	II2	224
I,2	8,I	I70	340	I	8,25	2I,2	424	I	8,0	200	400
6,2	8,I	28,2	56,4	5,6	8,25	33,6	67,2	6	8,0	28,8	57,6
6,2	II,25	59,2	II8,4	5,6	II,0	63,3	I26,6	6	II,0	58,6	II7,2
I,2	II,25	330	660	I	II,0	380	760	I	II,0	380	760
6,2	I5,0	I09	2I8	5,6	I4,85	II9	238	6	I5,0	II3	226
6,2	20,0	I97,5	395	5,6	20,0	220	440	6	20,0	205	4I0
6,2	26,0	337	674	5,6	26,0	374	748	6	26,0	349	698
6,2	34,0	580	II60	5,6	34,0	640	I280	6	34,0	600	I200
6,2	45,0	I020	2040	5,6	45,0	II40	2280	6	45,0	I060	2I20

K_c – коэффициент симметричной установки ВЭЗ;

$K_{тр} = 2 \cdot K_c$ – коэффициент трехэлектродной установки ВЭЗ.

туру и источники питания располагают на обочинах, у бровок земляного полотна (рис.6). Концы питающих и приемных линий центра установки при выполнении ВЭЗ по оси пути протягивают под рельсами и подключают к измерительной аппаратуре и источникам питания. Центр установки закрепляют на деревянном колышке или временно забитом гвозде в шпалу. Катушки с проводом питающих линий переносят одновременно с электродами. Электроды забивают на такую глубину, чтобы верхние торцы их не превышали головки рельса.

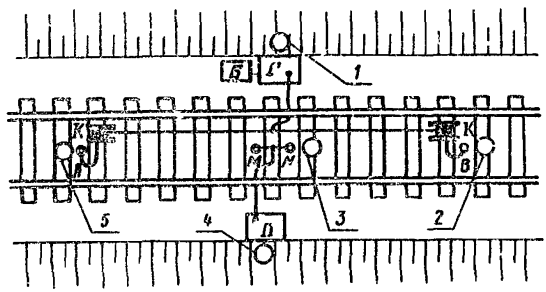


Рис.6. Схема размещения обслуживающего персонала и оборудования установки ВЭЗ с низкочастотной аппаратурой на основной площадке:
I - оператор-вычислитель;2,3,5 - рабочие;
4 - оператор; Г - генератор; П - приемник;
Б - источник питания; К - катушки; *MN*-приемные электроды; А,В - питающие электроды

На участках с трудными условиями заземлений щебеночный балласт под электродами выбирают до глубины залегания подошвы шпал. При больших переходных сопротивлениях между электродами и балластом в образовавшиеся лунки засыпают глинистый материал или заливают воду. После проведения наблюдений лунки засыпают щебнем.

Работы методом ВЭЗ выполняет отряд из четырех человек: оператора, вычислителя и двух рабочих. При обследовании основной площадки дополнительно требуются два сигналиста. При подходе поезда установка ВЭЗ и аппаратура остаются на месте, а обслуживающий персонал уходит на откосы насыпи.

3.6. Перед началом и после каждого замера на участках электрифицированных дорог определяют уровень помех $\Delta V_п$. Уровень помех вычитают из полученных значений ΔV. В этом случае

$$\rho_к = K \frac{(\Delta V - \Delta V_п)}{J},$$

где J - сила тока.

Глубина исследований зависит от уровня помех и их амплитуды. Увеличивать разносы питающих линий можно до пределов, пока соблюдается условие $\Delta V \geq 3\Delta V_п$ при амплитуде помех не более 20-30% от $\Delta V_п$. С низкочастотной аппаратурой на электрифицированных участках это условие соблюдается до разносов 60-80 м, что позволяет обследовать насыпи высотою 15-20 м. На неэлектрифицированных дорогах глубина исследований больше и в основном определяется геоэлектрическими условиями разреза.

3.7. Количество ВЭЗ на поперечнике насыпи определяется характером решаемых инженерно-геологических задач, а также зависит от высоты насыпи и ширины основной площадки (количества путей на насыпи).

Зондирования обычно выполняют на оси пути, на обочинах на расстоянии 0,5-1,0 м от бровок и на откосах насыпи. На двух- и трехпутных линиях точки ВЭЗ дополнительно задают на междупутье. Максимальное количество точек наблюдений на основной площадке однопутной насыпи составляет 3, двухпутной - 5, трехпутной - 7 и т.д. На откосах ВЭЗ выполняют при высоте насыпи более 3-4 м. В зависимости от детальности обследования и характера решаемых задач расстояние между точками зондирования изменяют от 2 до 6м.

При обследовании насыпей, возведенных на слабых грунтах (илах, сапропелях, ильдиевых глинах, торфе и др.), для установления возможного расползания погруженной части насыпи в стороны ВЭЗ дополнительно выполняют у основания откосов на расстоянии 0,5-0,7 м от подошвы насыпи.

Для определения электрических характеристик грунтов основания выполняют опорные ВЭЗ на расстоянии 5-10 м от подошвы насыпи. Данные опорных ВЭЗ используют при интер-

претации кривых ВЭЗ, полученных на насыпи.

Схема расположения ВЭЗ на насыпи, возведенной на слабых грунтах, приведена на рис.7. По данным ВЭЗ-130 и -134 устанавливают расползание погруженной части насыпи в стороны. ВЭЗ-55 и-57 являются спорными. По данным опорных ВЭЗ определяют мощность торфа, супеси, илов и их удельную электропроводность.

3.8. Разбивку поперечников и планово-высотную привязку точек наблюдений на насыпях высотой более 2 м производят инструментально. На основной площадке и откосах насыпей высотой менее 2 м привязку точек ВЭЗ к пикетам обследуемого участка дороги можно осуществлять с помощью мерной ленты и геодезических реек. Отметки точек в этих случаях устанавливают относительно существующих головок рельсов (СГР). Абсолютные отметки СГР снимают заранее с продольного профиля, чертеж которого имеется в Управлении дороги или дистанциях пути.

3.9. Обработка материалов ВЭЗ включает введение поправок за уровень помех и влияние конфигурации насыпи, контрольный пересчет значений $\rho_к$ и построение кривых ВЭЗ на стандартном билогарифмическом бланке (на кальке).

При слабой дифференциации грунтов по удельным электрическим сопротивлениям полученные кривые ВЭЗ или часть их трансформируют в кривые зондирования методом вычитания полей (ЗМВП) [9] или дипольно-осевого зондирования (ДОЗ) [10].

После введения поправок за уровень помех и конфигурацию насыпи кривые ВЭЗ практически сохраняют свою форму, изменяются лишь значения кажущихся удельных электрических сопротивлений $\rho_к$. Введение поправок влияет, в основном, на результаты определения удельных электрических сопротивлений исследуемых грунтов и в меньшей степени – на определение мощности слоев и глубин их залегания.

3.10. Для количественной интерпретации результатов

ВЭЗ необходимо, чтобы мощность исследуемых слоев грунта была больше половины глубины их залегания, протяженность – не менее 5–6 глубин залегания, углы падения относительно поверхности насыпи не более 20–30°, а удельные электрические сопротивления отличались от сопротивлений перекрывающих и подстилающих слоев не менее 1,3–1,4 раза. При нарушении этих условий результаты ВЭЗ интерпретируют качественно.

3.11. Полевые кривые ВЭЗ, полученные на насыпи, интерпретируют обычным способом, применяя палетки вспомогательных, двухслойных и трехслойных теоретических кривых ВЭЗ.

Геоэлектрические разрезы насыпей, как правило, многослойные. Даже насыпи из однородного грунта в нижней части имеют более низкие сопротивления вследствие большего увлажнения, а в насыпях из крупнообломочного материала, возведенных на слабых основаниях, и за счет проникновения в погруженную часть насыпи иловатых и глинистых частиц.

Геоэлектрическую модель песчано-глинистой насыпи можно представить в следующем виде. Слой щебеночного балласта имеет сопротивление в несколько тысяч ом.м. Сопротивление песчаной подушки в зависимости от состава песка, содержания щебня, глинистости и увлажненности изменяется от 100 до 3000 Ом•м. Тело насыпи, сложенное глинистыми грунтами, имеет сопротивление от 5 до 30, суглинками – от 10 до 60, супесями – от 40 до 100 Ом•м. Указанные пределы сопротивлений могут изменяться в зависимости от изменения минерализации грунтовых вод. Загрязненный балласт имеет более низкие сопротивления, чем чистый.

Сопротивление мерзлых грунтов в теле насыпи в десятки раз больше сопротивления талых. Оно зависит от состава, текстуры и льдистости грунтов. Изменение сопротивления тонкодисперсных грунтов при переходе от талых к мерзлым не превышает 10 раз, крупнообломочных обводненных достигает нескольких сотен.

Кривые ВЭЗ, полученные на песчано-глинистых насыпях с высокоомным основанием, имеют, в основном, типы QH и KQH.

На откосах этих насыпей получают кривые типа H , при наличии балластных шлейфов - типа QH .

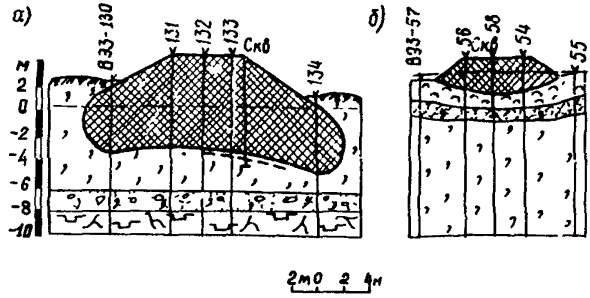


Рис.7. Схема расположения ВЭЗ на насыпи, возведенной на слабых грунтах:
а - переход М; б - переход Х;
- насыпь; - торф; - супесь иловатая; - ил; - галька и гравий с песком; - трещиноватый базальт; —·—·отметка земли до отсыпки насыпи; — — - основание насыпи по данным бурения

На насыпях, отсыпанных из крупнообломочного материала или песка на низкоомные основания (глины, илы и др.), получают кривые типа QQ или KQQ . При неоднородном литологическом составе и различном состоянии грунтов насыпи кривые ВЭЗ могут иметь другие типы, соответствующие более сложным, многослойным геоэлектрическим разрезам.

3.12. Кривые ВЭЗ, характерные для насыпи с низкоомным основанием, приведены на рис.8. В данном случае насыпь отсыпана из глыб и щебня базальта с суглинистым заполнителем на торф и морские илы, которые подстилаются трещиноватыми обводненными базальтами. Кривые ВЭЗ-132 и-58, имеют типы $QQ'H$ и $KQ'H$, где абсциссы эквивалентных точек Q' с учетом их смещения соответствуют глубине залегания подошвы насыпи. Для более точного определения координат точек Q' , а следовательно, и величины осадки насыпи в слабые грунты используют способ последовательных приближений [II]. Сущность его заключается в интерпретации кривых ВЭЗ в обратной последовательности, на-

чиная с опорного горизонта, в данном случае – с кровли базальтов. Сведения о глубине залегания кровли базальтов, мощности и сопротивления перекрывающих их илов и торфа получают по данным опорных ВЭЗ. На кривой ВЭЗ, полученной на насыпи, устанавливают по данным опорных ВЭЗ абсциссу точки H, соответствующую кровле опорного горизонта. Ординату этой точки определяют по положению креста двухслойной палетки при наилучшем совпадении одной из ее восходящих ветвей с правой ветвью экспериментальной кривой. Далее, перемещая двухслойную палетку по бланку с практической кривой ВЭЗ, добиваются наилучшего совпадения одной из ее нисходящих ветвей с нижней частью ниспадающей ветви практической кривой при соблюдении условия, что асимптота палеточной кривой оказывается совмещенной с ординатой, равной удельному сопротивлению илов ρ_4. Крест двухслойной палетки при этом совпадении условно принимают за точку Q'. Для проверки правильности данного предположения точку Q' накладывают на крест вспомогательной палетки $\mathcal{X}CH$. Если при этом точка H ложится на вспомогательную кривую с модулем $M_4 = \frac{\rho_4}{\rho_Q}$ (ρ_Q – ордината точки Q'), то координаты точки Q' определены правильно. В противном случае величину M_4 корректируют путем последовательного наложения палеточных кривых с разными модулями на соответствующую часть практической кривой.

Способ последовательных приближений можно использовать для определения абсциссы точки Q', соответствующей подошве балластного слоя песчано-глинистых насыпей. В этом случае в качестве опорных принимаются ВЭЗ, выполненные на насыпи в точках, где отсутствует балластный слой.

3.13. Если насыпь возведена на торфе или супеси, сопротивления которых близки к сопротивлению грунтов насыпи, а подстилаются они более высокопроводными грунтами (илами, глинами или сапропелями), то нижняя увлажненная часть насыпи и торф или супесь определяются на кривых ВЭЗ как один геоэлектрический горизонт. В этом случае мощность торфа и супеси устанавливают по данным опорных ВЭЗ, выполненных в стороне от насыпи, учитывая величину их сжатия

под массой тела насыпи, и вычитают ее из суммарной мощности насыпи, торфа и супеси, полученной по данным ВЭЗ [II]. Таким образом определяют величину осадки и конфигурацию подошвы насыпи.

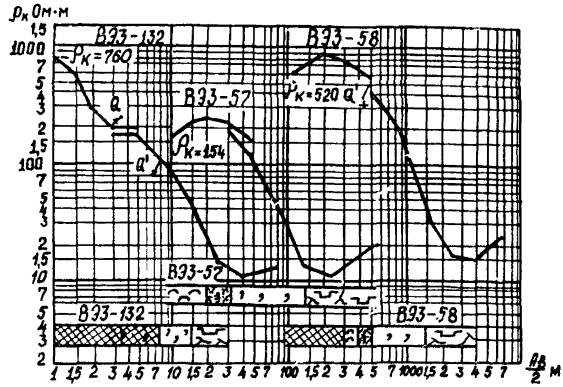


Рис.8.Кривые ВЭЗ-I32 и -58, полученные на оси насыпи, возведенной из крупнообломочного материала на слабых грунтах, и кривая ВЭЗ-57, полученная на торфе

– насыпь; – супесь иловатая; – торф; – ил; – разрушенный базальт

3.I4. Результаты ВЭЗ представляют в отчетах виде геоэлектрических разрезов по поперечникам и вдоль оси насыпи. На разрезах приводят значения удельных электрических сопротивлений геоэлектрических горизонтов и дают их геологическое толкование. В нижней части чертежа указывают расстояния между точками ВЭЗ в метрах, абсолютные или относительные отметки и привязки их к пикетам исследуемого участка дороги.

К отчету прилагаются бланки с полевыми кривыми ВЭЗ и ведомость их интерпретации.

3.I5. По данным опорных ВЭЗ, выполненных у скважин, максимальные ошибки в определении мощности и удельных соп-

ротивлений исследуемых слоев составляют 15-17%.

Электропрофилирование (ЭП)

3.16. Методом ЭП решают следующие задачи:

выявляют и оконтуривают в плане локальные неоднородности в теле насыпи (грязевые мешки, гнезда, линзы подземных льдов, мерзлые породы и др.);

определяют толщину балластного слоя и границы распространения балластных шлейфов;

прослеживают изменения состава и состояния грунта по площади;

выявляют и оконтуривают суффозионные полости, подземные льды, вечномерзлые грунты, закарстованные участки в основании насыпи.

3.17. Применяют установки симметричного электропрофилирования с двумя разносами питающих линий по схеме $AA'MNB'B$

Разнос питающих и приемных линий, как обычно, устанавливают по кривым опорных ВЭЗ, исходя из характера решаемых задач и заданной глубины исследования. При обследовании балластного слоя разносы $A'B'$ принимают равными примерно двойной толщине этого слоя, а $AB = 2 \cdot A'B'$. При выявлении и оконтуривании мерзлых пород $A'B'$ принимают равным двойной глубине залегания кровли мерзлых пород, а $AB = 3 \div 5 A'B'$. При таких разносах получают наиболее четкие аномалии $\rho_к$ над мерзлыми грунтами.

3.18. При обследовании основной площадки насыпи разносы в соответствии с поставленными задачами уточняют по табл.1.

Провода питающих и приемных линий соединяют в одну косу. На концах линий составляют выводы по 20-30 см для подключения электродов. В центре установки вывод оставляют длиной до 15 м. Это позволяет при одном и том же расположении измерительной аппаратуры выполнять наблюдения по профилю в 10-12 точках. Аппаратуру и оборудование при методе ЭП применяют те же ,что и при методе ВЭЗ (см.п.3.4).

3.19. Установку ЭП обслуживают 5 человек: оператор, вычислитель и трое рабочих. На основной площадке дополнительно требуется два сигналиста. При выполнении работ по оси пути оператор и вычислитель с измерительной аппаратурой и источником питания передвигаются по обочине насыпи. Один рабочий работает в центре установки, два - на концах питающих линий. Электроды забивают на такую глубину, чтобы верхние торцы их не превышали головки рельса. При подходе поезда установка остается на оси пути, аппаратура и источники питания - на обочине, сбслуживающий персонал уходит на откосы насыпи.

Работы на откосах насыпей выполняют без сигналистов; технология проведения ЭП общепринятая.

При выполнении ЭП на основной площадке электрифицированных линий учитывают влияния помех и вносят поправки за влияние конфигурации насыпи так же, как и при зондировании (см.п.3.6).

Электропрофили располагают вдоль оси пути и на обочинах. На откосах высоких насыпей, при определении границ распространения балластных шлейфов, электропрофили располагают как вдоль, так и вкрест земляного полотна.

Разбивку профилей и планово-высотную привязку точек наблюдений осуществляют согласно п.3.8.

3.20.Результаты ЭП представляют в виде графиков кажущихся удельных электрических сопротивлений $\rho_к$. Горизонтальный масштаб графика определяется заданным масштабом исследований. Вертикальный масштаб выбирают с учетом наглядности выделения полученных аномалий. При этом отклонения в значениях $\rho_к$, обусловленных погрешностями наблюдений, должны составлять 1-5 мм. Наиболее удобным для построения графиков ЭП является логарифмический масштаб с модулем 6,25 см.

Графики $\rho_к$, соответствующие большему разносу, вычерчивают сплошной линией, меньшему - пунктирной. Под графиками в том же горизонтальном масштабе изображают схему расположения электродов установки.

По результатам площадного обследования насыпи и грун-

тов основания составляют карты равных сопротивлений. Масштабы карт и горизонтальные масштабы графиков и геоэлектрических разрезов в этих случаях принимаются одинаковыми.

3.21. Качественная интерпретация результатов ЭП включает учет искажений, вызванных помехами и влиянием конфигурации насыпи, выделение аномалий, прослеживание и оконтуривание по площади выявленных неоднородностей и их геологическое истолкование.

Если по данным выработок или ВЭЗ исследуемый слой имеет постоянную мощность, то по результатам ЭП можно проследить изменение его состава или состояния. В балластном слое высокими сопротивлениями характеризуются однородные слабовлажные пески, низкими - глинистые или обводненные пески. Углубления в подошве песчаной подушки вызывают повышение значений кажущихся удельных электрических сопротивлений, уменьшение мощности этого слоя - их понижение.

По данным ЭП определяют границы распространения балластных шлейфов на откоса насыпей. График ЭП, полученный с одним разносом питающей линии на двухпутной насыпи высотой 12 м, приведен на рис.9. Границы распространения песчаной подушки на графике четко определяются по аномалии повышенных сопротивлении. Песчаный слой на насыпи первого пути характеризуется более низкими сопротивлениями, чем на насыпи второго пути. Это обусловлено загрязнением песка на первом пути, включением глинистых частиц и наличием в песке маломощных прослоев супесей и суглинков. Удельное сопротивление грунтов насыпи второго пути примерно в 2 раза больше, чем первого.

3.22. По результатам симметричного электропрофилирования, используя специальные номограммы, можно определить толщину балластного слоя.

Номограмма [12], выражающая зависимость $h=f(a, L_1, L_2)$ (h - мощность балластного слоя, $a=\frac{\rho_{к1}}{\rho_{к2}}$ - отношение сопротивлений, полученных при разносах $A'B'=L_1$, $AB=L_2$) приведена на рис.10. Номограмму используют при условии, когда:

отношение удельного электрического сопротивления ρ_2 грунта насыпи, подстилающего балластный слой, к удельному сопротивлению балластного материала ρ_1 не превышает $\frac{1}{19}$ [12] ;

меньший полуразнос питающей линии соизмерим с мощностью балластного слоя $L_2/L_1 = 2$.

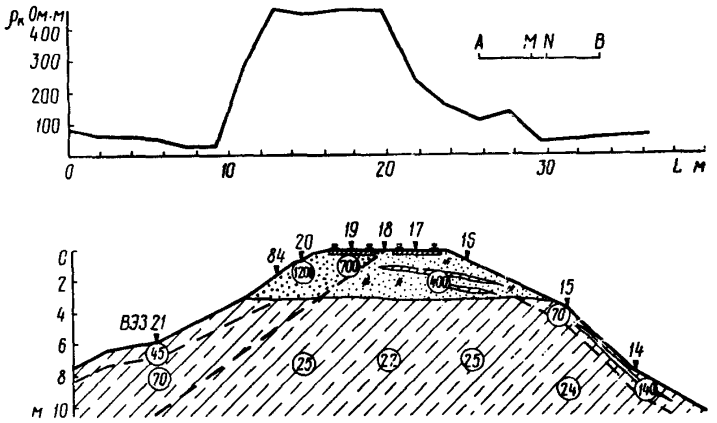


Рис.9. Аномалия $\rho_к$, полученная над песчаной подушкой насыпи по результатам электропрофилирования

[⁝⁝⁝] – песок; [⁝⁝⁝] – песок с примесью глинистых частиц; [▨] – суглинок; цифры в кружочках – сопротивление грунта Ом·м; – – – – откос насыпи первого пути

Для удобства интерполяции приведенных графиков вместо $\mu = 0$ можно принять $\mu = \frac{1}{399}$. Если, например, насыпь возведена из глинистых грунтов с сопротивлением 10 Ом·м, а балластный слой представлен песками с сопротивлением 600 Ом·м, то $\mu = \frac{1}{60}$, что соответствует примерно $\frac{1}{7}$ расстояния между кривыми $\mu = 0$ и $\mu = \frac{1}{19}$. При изменении мощности балластного слоя от 2 до 3 м размеры питающих линий принимают равными: $L_1 = 5$ и $L_2 = 10$ м. Если кажущиеся сопротивления

ρ_{K_1} = 300 Ом·м, а ρ_{K_2} = 100 Ом·м, то $Q = \frac{\rho_{K_1}}{\rho_{K_2}} = 3$. Тогда для $M = \frac{1}{60}$ отношение $\frac{2h}{L_1} = 0{,}81$. Следовательно, мощность балластного слоя будет равна

$$h = (L_1 \cdot 0{,}81) : 2 = (5 \cdot 0{,}81) : 2 = 2{,}0 \text{ м}.$$

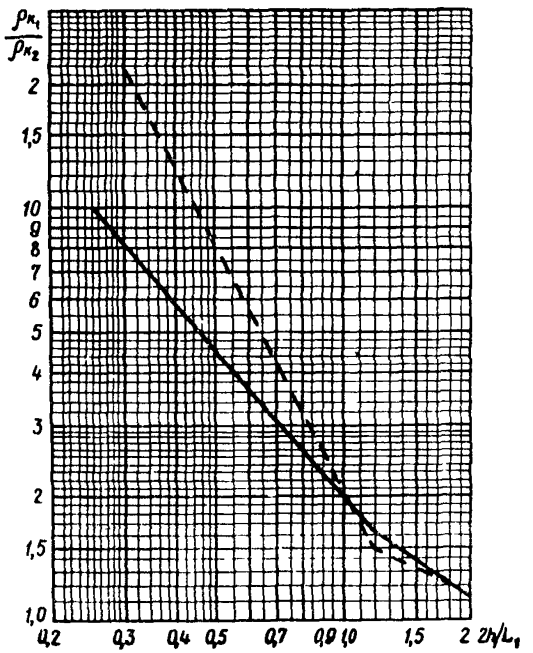


Рис.10. График зависимости $h = f\left(\frac{\rho_{K_1}}{\rho_{K_2}}, L_1, L_2\right)$ при $\frac{L_2}{L_1} = 2$ (по Горсховскому В.Т.): — $M = 0$; - - - $M = \frac{1}{19}$; ρ_{K_1} – кажущееся сопротивление, полученное с разносом L_1; ρ_{K_2} – то же с разносом L_2

3.23. Более широкий диапазон отношений удельных электрических сопротивлений $\frac{\rho_2}{\rho_1}$ охватывают номограммы Милоша Кароуса I3 (рис. II). Но при использовании этих номограмм необходимо учитывать удельное электрическое сопротивление ρ_2 грунта насыпи, подстилающего балластный слой,

которое, как правило, определяют по данным опорных ВЭЗ. Номограмма составлена для случая, когда $\rho_1 > \rho_2$ и $\frac{L_2}{L_1} = 2$.

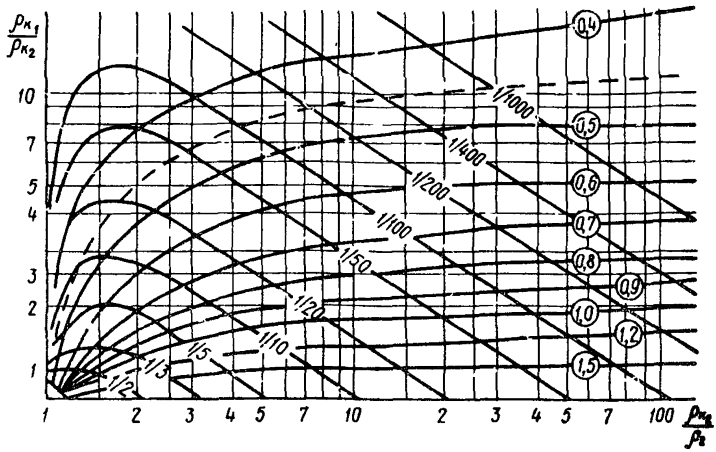


Рис. II. Номограмма двойного электропрофилирования Д – $\rho_2 - 2, \rho_1 > \rho_2$ (по Милошу Кароусу): цифры в кружочках h/L_1; без кружочков ρ_2/ρ_1

По оси ординат в логарифмическом масштабе отложены значения отношений $\frac{\rho_{к1}}{\rho_{к2}}$, по оси абсцисс $\frac{\rho_{к1}}{\rho_2}$. Кривые номограммы построены по модулям $\frac{h}{L_1} = const$ и $\frac{\rho_2}{\rho_1} = const$.

Для определения мощности и удельного электрического сопротивления балластного материала по известным $\rho_{к1}$, $\rho_{к2}$ и ρ_2 на номограмме находят точку с координатами $\rho_{к1}/\rho_{к2}$ и $\rho_{к1}/\rho_2$ и проходящие через нее кривые с модулями h/L_1 и ρ_2/ρ_1.

Зная значение L_1, по первому модулю определяют толщину балластного слоя, по второму – его удельное электрическое сопротивление.

3.24. Предложенные способы количественной интерпретации результатов ЭП с двумя разносами питающих линий целесообразно применять при толщине балластного слоя более

I-I,5 м. Их можно применять также и для определения глубины залегания и конфигурации подошвы насыпи, возведенной на слабых грунтах, но при условии резкой дифференциации грунтов насыпи и основания по удельным сопротивлениям. Лучшие условия будут при $M \leq \frac{I}{I9}$.

3.25. Максимальные ошибки в определении мощности дренирующего слоя предложенными способами по данным контрольного бурения составляют I7-20%.

Пример определения мощности дренирующего слоя по данным ЭП приведен в приложении I.

Электроконтактное зондирование (ЭКЗ)

3.26. Песчано-глинистые насыпи, содержание крупнообломочного материала в которых не превышает 40%, обследуют методом ЭКЗ до глубины 5-7 м.

Основные задачи, решаемые этим методом, следующие:

определение толщины балластного слоя, границ распространения и мощности балластных шлейфов;

выявление и оконтуривание балластных лож, корыт, мешков и гнезд, установление их размеров и конфигурации;

расчленение тела насыпи по литологическому составу и состоянию грунта;

установление величины осадки и конфигурации подошвы насыпи, возведенной на слабых грунтах.

По сравнению с методами ВЭЗ и ЭП метод ЭКЗ более трудоемкий, приводит к незначительным нарушениям земляного полотна, но позволяет определять границы грунтов различного литологического состава или состояния с большей точностью. Его применяют для исследования грунтов, обладающих величиной условного динамического сопротивления не более I40 кгс/см^2.

3.27. Сущность метода ЭКЗ заключается в дискретном измерении силы тока, пропускаемого в исследуемый грунт через изолированные контакты, при постепенном погружении длинного металлического стержня - подвижного электрода [I,I4].

Подвижные электроды применяют двух типов: цилиндрические с двумя изолированными контактами, расположенными в нижней конической части наконечника, и конические с одним изолированным контактом. Принципиальная электрическая схема измерений с этими типами электродов приведена на рис.12.

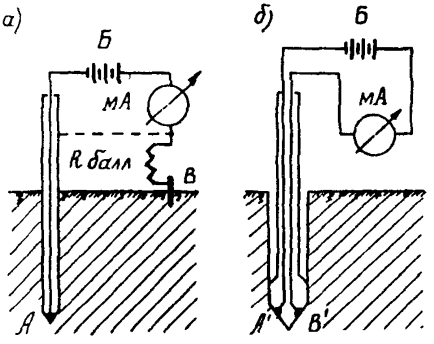


Рис.12. Электрические схемы измерений с одноконтактным (а)и двухконтактным (б) наконечниками подвижных электродов установки ЭКЗ:
А,А',В' - изолированные контакты; В - неподвижный электрод; Б -источник питания; А - измерительный прибор; R бал.-балластное сопротивление

Силу тока измеряют серийными геофизическими приборами ЭСК-1, генератором АНЧ-1 или специально разработанным прибором ИТ-73.

Для изготовления подвижных электродов используют толстостенные бесшовные холоднотянутые трубы размерами 22х6 по ГОСТ 8734-58. При использовании труб с меньшей толщиной стенок (22х5) на торцах отдельных звеньев электрода *делают переходные муфты*. Подвижные электроды, состоящие из коротких звеньев, длиной 0,25 и 0,5 м,применяют на основной площадке;электроды, состоящие из метровых звеньев - на обочинах и откосах насыпей.

При выполнении зондирования с одноконтактным коническим электродом в качестве неподвижного электрода используют металлические стержни диаметром 15-25 мм и длиной 30-40 см.

Погружают подвижные электроды ударами груза, скользящего по направляющей штанге упора. Груз поднимают руками. Массу груза в зависимости от плотности грунта и глубины зондирования принимают равной 5, 7 и 10 кг.

Извлекают подвижные электроды с помощью специального устройства, состоящего из рычага и самозахватывающих механизмов.

Описания конструкции установки ЭКЗ и электрической схемы измерительного прибора ИТ-73 приведены в приложениях 2 и 3.

3.28. Технология проведения работ методом ЭКЗ следующая. В точке наблюдений первое звено с наконечником погружают в грунт на глубину 20-30 см.В пределах шпальной решетки предварительно выбирают балласт до глубины заложения шпал, а затем в образовавшуюся лунку погружают электрод. Провод, идущий от наконечника, протаскивают через оставшиеся звенья электрода, количество которых определяется заданной глубиной исследования.

На верхний торец погруженного первого звена электрода одевают упор для груза. По направляющей штанге на упор опускают груз. Провод подключают к измерительному прибору. Неподвижный электрод при работе с одноконтактным наконечником относят от подвижного электрода на расстояние, равное 2-3 глубинам исследования.

Перед началом измерений на приборе ИТ-73 потенциометром устанавливают необходимое напряжение на выходе прибора (см.приложение 3). На генераторе АНЧ-I проверяют напряжение питающей батареи и устанавливают регулятор выходного тока в положение 2, а потенциометр точной настройки выводят в нулевое положение. Установленные положения регулятора и потенциометра на генераторе АНЧ-I остаются постоянными при проведении исследований на всем участке работ. После подготовительных операций приступают к замерам силы

тока, пропускаемого через исследуемый грунт. При наращивании нового звена электрода ток замеряют только в следующем залоге после погружения электрода.

За глубиною погружения подвижного электрода наблюдают по отметкам, нанесенным на штангах через каждые 5 и 10 см. Для удобства отсчетов можно использовать деревянную линейку, установленную рядом с электродом. В этом случае отсчеты определяют по верхнему торцу электрода.

Шаг наблюдений или залог при зондировании сравнительно однородных слоев грунта мощностью более 1 м принимают равным 10 см. Для выявления маломощных прослоев и для повышения точности определения глубины залегания литологических границ шаг уменьшают до 5 см.

3.29. Установку ЭКЗ обслуживают три человека: оператор и двое рабочих. Оператор измеряет силу тока и ведет запись в полевом журнале. Один из рабочих ударами груза погружает электрод, второй - следит за глубиною погружения. Через каждый метр погружения электрода рабочие меняются местами. Для выполнения работ на основной площадке дополнительно требуется два сигналиста.

При выполнении зондирования на оси пути или у внутренней стороны рельса, соединительные провода находятся под рельсами. Оператор с измерительной аппаратурой в этом случае находится на обочине насыпи. При приближении поезда электрод погружают (без замеров) до уровня головки рельса или отсоединяют верхнее звено электрода (на отсоединение одного звена требуется 15 с). Упор для груза и груз укладывают рядом с электродом, рабочие отходят на откос насыпи.

Если приближение поезда совпало с моментом извлечения электрода, то в первую очередь после погружения электрода до уровня головки рельса снимают упор груза и отсоединяют рычаг извлекающего устройства. Само извлекающее устройство без рычага по высоте не превышает головки рельса и не создает помех проходящим поездам. Длина извлекаемых звеньев на откосах и обочине насыпи не должна быть более 2 м. В пределах рельсошпальной решетки сразу же пос-

ле извлечения отсоединяют каждое звено электрода. Зондирование на основной площадке с цилиндрическими электродами можно проводить при минимальном интервале между проходящими поездами не менее 20, с коническими - не менее 10 мин. При интервале между поездами, меньшем 10 мин, зондирование на основной площадке проводить не рекомендуется.

3.30. Количество точек зондирований на поперечнике определяется характером решаемых инженерно-геологических задач и зависит от высоты обследуемой насыпи. Обычно ЭКЗ выполняют на обочинах насыпей, у рельсов и по оси пути. На откосах насыпей расстояния между точками наблюдений принимают равными 1,5-2 м. Порядок нумерации точек наблюдений по поперечнику однопутной насыпи рекомендуется принимать следующим: на правой обочине ЭКЗ-1, у правого рельса-ЭКЗ-2, по оси пути ЭКЗ-3, у левого рельса - ЭКЗ-4, на левой обочине - ЭКЗ-5. На откосах насыпей точки наблюдений соответственно нумеровть ЭКЗ-1,-$1^{а}$,-$1^{б}$ и т.д. для правого откоса и ЭКЗ-5,-$5^{а}$,-$5^{б}$ и т.д. для левого откоса (рис.13). На каждом поперечнике нумерация точек повторяется. На основной площадке двухпутной линии номера точек ЭКЗ будут изменяться от 1 до 9, на откосах они соответственно будут: $1^{а}$, $1^{б}$, $1^{в}$.... $9^{а}$, $9^{б}$, $9^{в}$ и т.д.

Планово-высотную привязку точек ЭКЗ осуществляют согласно п.3.13.

3.31. При выполнении работ с помощью установки ЭКЗ с одноконтактным наконечником на силу тока в значительной степени влияют условия заземления неподвижного электрода. Уменьшить это влияние можно введением в цепь тока большого балластного сопротивления $R_{бал}$ или подключением цепи неподвижного электрода к корпусу подвижного электрода (см.рис.12). Для улучшения сопоставимости материалов, получаемых в разных точках ЭКЗ, следует делать измерения в этих точках по возможности при одном и том же положении неподвижного электрода.

Расчленять песчано-глинистые разрезы и определять характеристики грунтов по результатам измерений с одноконтакт-

ным наконечником можно только по относительному изменению силы тока.

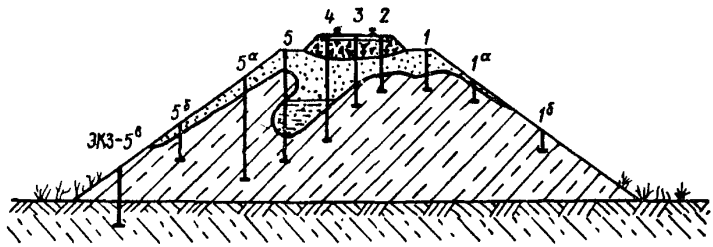


Рис.I3. Схема расположения и порядок нумерации точек ЭК3 при обследовании насыпи однопутной линии

Результаты расчленения верхней части насыпи по данным ЭК3, полученным с одноконтактным наконечником, приведены на рис.I4. Ошибка в определении подошвы слоя щебенистого балласта и песчаной подушки, согласно данным контрольного шурфа при шаге наблюдений 5 см, не превышает 2,5см. Изменение силы тока в слое песка связано с изменением гранулометрического состава: чем больше содержание пылеватых частиц, тем больше величина измеряемого тока.

В однородных обводненных песках по данным ЭК3 уверенно определяется верхняя граница капиллярного поднятия, а уровень грунтовых вод определяется нечетко (см.рис.I4,б).

3.32. Применение двухконтактного наконечника в комплексе с прибором ИТ-73 позволяет по силе тока определять удельную электропроводность исследуемых грунтов (рис.I5).

Полученные графики показывают возможность установления корреляционной связи между измеряемой силой тока и составом или состоянием исследуемого грунта.

Согласно типичным геоэлектрическим разрезам песчано-глинистых насыпей (см.п.3.I8) в щебеночном балласте сила тока может быть не более 0,05 мА, в песке - от 0,02 до 0,3 мА, в суглинках - от 0,4 до I мА, в глинах - от 0,6 до I,2 мА. В зависимости от минерализации грунто-

вых вод и загрязненности балласта указанные пределы могут изменяться. Так, в обводненных песках с изменением минерализации воды от I до 2 г/л ток увеличивается от 0,4 до 0,6 мА. При сильном загрязнении балласта его электропроводность увеличивается в 2-3 раза.

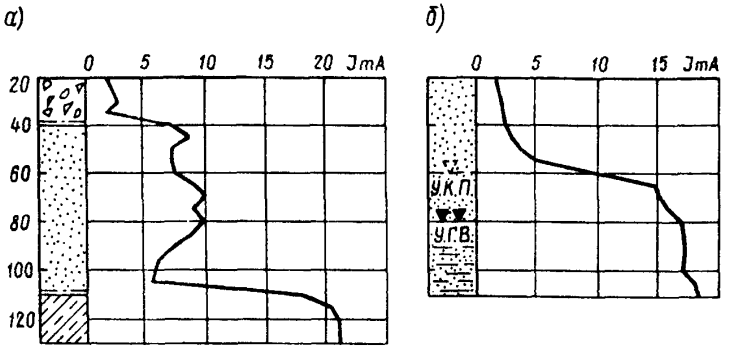


Рис.I4. Определение мощности балластного слоя (а) и уровня капиллярного поднятия грунтовых вод (б) по результатам зондирования с одноконтактным наконечником

- щебень; - песок; - суглинок;
УГВ - уровень грунтовых вод; УКП - уровень капиллярного поднятия; — границы по данным шурфа

По графикам тока можно определить минерализацию воды в выработке, источнике и водоеме, вводя соответствующие поправки на температуру и тип воды.

3.33. Результаты измерений методом ЭКЗ заносят в полевой журнал. Форма журнала и образец его заполнения приведены в приложении 4. При записях результатов измерений рекомендуется сразу же строить график изменения силы тока по глубине изучаемого разреза. Границы слоев различного литологического состава устанавливают по средней части изгиба кривой тока. При определении глубины положения зеркала грунтовых вод в песке, необходимо к глубине, отвечающей изгибу, добавить высоту капиллярного поднятия, харак-

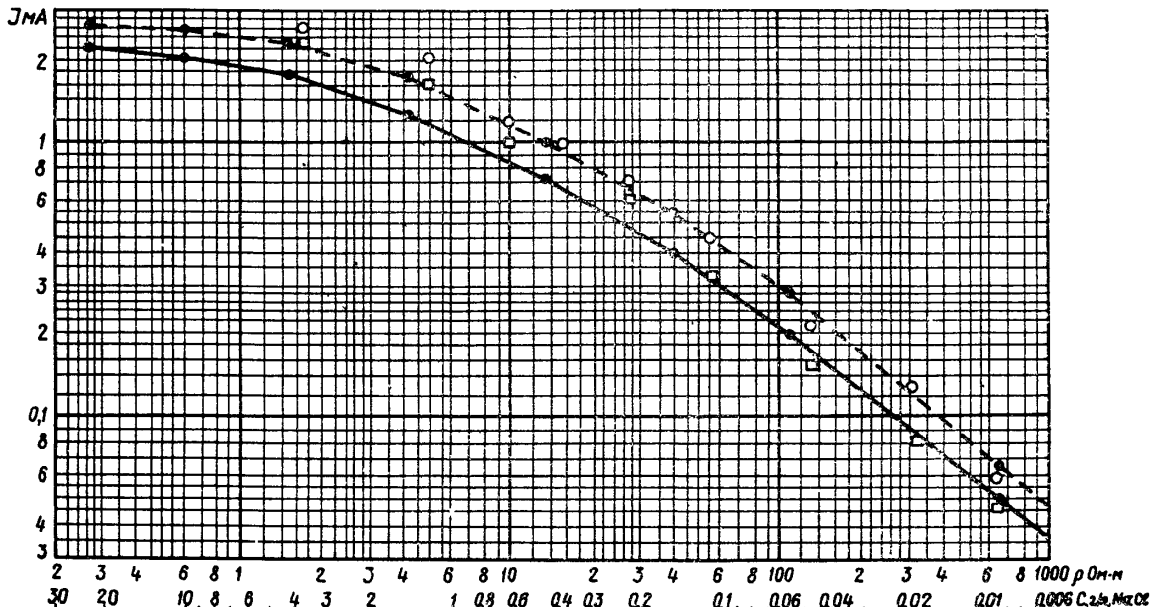


Рис. 15. Графики зависимости силы тока от удельного электрического сопротивления раствора *NaCl* для двухконтактных наконечников с разным диаметром контактов, мм (сопротивление раствора *NaCl* приведено для $t = 18^{\circ}C$: —·—·— график полученный при $d = 12$; —— при $d = 9$; o – силе тока и сопротивление образца грунта при $d = 12$; □ – то же при $d = 9$

терную для данного песка.

Результаты интерпретации ЭКЗ переносят затем в сводную ведомость инженерно-геологического обследования насыпи. Данные ЭКЗ в ведомости приводятся вместе с данными контрольного бурения и шурфования, объем которых составляет 10% от объема зондирования.

3.34. Метод ЭКЗ целесообразно применять при глубине зондирования более 0,5 м. При меньшей глубине проще и скорее проходить расчистки или закопушки. Максимальная глубина зондирований зависит от плотности исследуемых грунтов и составляет в среднем 7 м. Производительность работ с установкой ЭКЗ составляет примерно 30 пог.м в смену. При обследовании основной площадки она во многом зависит от количества проходящих в рабочую смену поездов. Погрешность в определении искомых границ при различии исследуемых грунтов по удельному сопротивлению в 1,5 и более раза не превышает ± 5 см при шаге наблюдений 10 см и ± 2,5 см - при шаге наблюдений 5 см. При нечеткой границе раздела, например проникновении щебня балластной призмы в песчаную подушку, точность определения границ снижается в 2-3 раза.

Электродинамическое зондирование (ЭДЗ)

3.35. Методы ЭДЗ решают задачи, указанные в п.3.26. Кроме того, его применяют:

для выявления ослабленных зон в теле насыпи, определения их мощности и глубины залегания;

для определения относительной плотности песчаных грунтов, изменения консистенции глинистых грунтов, динамической устойчивости песчаных грунтов основания, насыщенных водой;

для установления мощности оползневых тел на косогорах и др.

3.36. Метод ЭДЗ сочетает электроконтактное зондирование и динамическую пенетрацию. Для его выполнения используют установку ЭКЗ с двухконтактным наконечником, цилиндрическим подвижным электродом и измерительным прибором ИТ-73. Наконечник применяют конический, с поперечным сече-

нием основания 10 $см^2$ и углом при вершине 60^0. Изолированные контакты выполнены заподлицо с конической поверхностью наконечника.

Величину условного динамического сопротивления определяют по количеству постоянных по силе ударов груза, необходимых для погружения электрода на глубину 10 см. Для этого груз массой 10 кг сбрасывают с высоты 0,5 м. ЭДЗ так же, как и ЭКЗ применяют для обследования песчано-глинистых насыпей с содержанием крупнообломочного материала не более 40% и сопротивлением грунтов динамической пенетрации не более 140 $кгс/см^2$, что соответствует примерно 45 ударам груза при погружении электрода на 10 см. Данные динамической пенетрации до глубины 0,5 м в расчет не принимают.

Совместная интерпретация графиков тока и пенетрации позволяет получить более однозначную и полную информацию о составе и состоянии исследуемых грунтов, чем интерпретация каждого графика в отдельности.

3.37. Технология выполнения работ методом ЭДЗ следующая. Перед началом зондирования первое звено подвижного электрода с двухконтактным наконечником погружают в исследуемый грунт на глубину 30-50 см легкими по силе ударами (при высоте подъема груза 20-30 см). Вертикальность электрода проверяют по отвесу. При наращивании последующих звеньев электрод поворачивают с помощью ключа вокруг оси по часовой стрелке. Затруднение при повороте свидетельствует об искривлении электрода. В этом случае электрод извлекают и зондирование повторяют заново. Глубину погружения электрода (зонда) определяют с точностью до $\pm$ 0,5 см по отметкам, нанесенным на штангах, или по специальной рейке.

Зондирования производят непрерывно до заданной глубины исследования или резкого увеличения количества ударов в залоге. Зондирование целесообразно производить, если для погружения электрода на глубину 10 см требуется не более50 ударов.

ЭДЗ выполняют, в основном, на обочинах и откосах на-

сыпей, применяя звенья подвижного электрода длиной I м. На основной площадке, в особенности в пределах рельсошпальной решетки, ЭДЗ применяют в случаях, если время между проходящими поездами не менее 20 мин. При этом применяют звенья подвижного электрода длиной 0,25-0,5 м.

Для получения опорных данных часть ЭДЗ выполняют у имеющихся опорных выработок (скважин, шурфов) на расстоянии от них не ближе I и не далее 5 м.

Нумерацию точек ЭДЗ и планово-высотную привязку их выполняют по пп.3.30 и 3.I3.

3.38. При выполнении ЭДЗ определяют количество постоянных по силе ударов в залоге и измеряют силу тока в миллиамперах, которые заносят в полевой журнал (см.приложение 4). По окончании зондирования в полевом журнале фиксируют характер усилий, прилагаемых для извлечения подвижного электрода ("легко","трудно", с наращиванием рычага или без, с использованием одного самозахватывающего механизма или двух-трех), и указывают интервалы глубин, в которых замечен прихват наконечника.

Количество постоянных по силе ударов затем представляют в виде установленного динамического сопротивления с учетом основных параметров применяемых установок ЭКЗ, согласно СН 448-72 [I5], по формуле

$$P_д = n \cdot \frac{M_г \cdot H' \cdot \Phi}{h' \cdot S} \cdot \left(\frac{M_г + e^2 \sum M_э}{M_г + \sum M_э} \right), \quad (2)$$

где $M_г$ – масса груза, кг;

$M_э$ – суммарная масса подвижного электрода и упора для груза, кг;

S – площадь поперечного сечения основания наконечника, $см^2$;

H' – высота падения груза, см;

h' – глубина погружения электрода за залог (шаг наблюдения), см;

n – количество ударов в залоге;

e – коэффициент учета упругого характера удара груза и зонда (электрода), принимаемый равным 0,56;

Ф - коэффициент учета трения штанг о грунт.

Коэффициент Ф определяют экспериментально по данным двух сопоставительных зондирований, одно из которых выполняется в разбуриваемой по интервалам скважине. При соотношении диаметра наконечника и диаметра несущих штанг более I,6 величину Ф для песчано-глинистых грунтов до глубины 5-7 м можно принять равной I. При зондировании мелких и средней крупности песков, насыщенных водой, значение Ф определяют по табл. 2.

Таблица 2

Интервалы глубины зондирования, м	0,5-I,5	I,5-4	4-8	8-I0
Значения Ф	I	0,92	0,84	0,8

3.39. Если второй и третий множители в формуле (2) выразить через один множитель M, то ее можно представить

$$\rho_д = M \cdot n . \qquad (3)$$

Значение M рассчитывают по интервалам глубин, соответствующим длине отдельных звеньев подвижного электрода. Значения $M_г$ и $M_э$ можно определить по основным параметрам двух установок ЭКЗ, приведенных в табл.3.

Таблица 3

Оборудование и его характеристика	Основные параметры установок	
	первой	второй
Наконечник		
геометрическая форма конструкции	Конус с углом при вершине 60°	
диаметр основания, мм . .	35,7	35,7
масса, кг	0,35	0,35
Звенья подвижного электрода		
наружный диаметр, мм . . .	22	22
внутренний диаметр,мм . . .	I0	I2

Продолжение табл.3

Оборудование и его характеристика	Основные параметры установок	
	первой	второй
длина первого звена, м . .	I,5	I
масса первого звена, кг . .	3,4	I,95
длина каждого последующего звена, м	I	I
масса каждого последующего звена, кг	2,4	2,05
Груз		
высота падения, м	0,5	0,5
масса, кг	I0	I0
Упор для груза массой, кг . . .	5,35	4,65
Переходник массой, кг	0,65	-

Значения M для первой и второй установок приведены в табл.4 (h' = I0 см, S =I0 см^2, Φ =I, e =0,5).

Таблица 4

Номер звена	Первая установка		Вторая установка	
	Интервал глубин, см	M	Интервал глубин, см	M
I	0-I40	3,30	0-80	3,59
2	I40-240	3,II	80-I80	3,37
3	240-340	2,96	I80-280	3,20
4	340-440	2,84	280-380	3,05
5	440-540	2,73	380-480	2,96
6	540-640	2,65	480-580	2,83
7	640-740	2,57	580-680	2,74
8	740-840	2,50	680-780	2,66
9	840-940	2,45	780-880	2,60
I0	940-I040	2,39	880-980	2,54
II	-	-	980-I080	2,48

3.40. В полевых условиях значение $\rho_д$ определяют по формуле (3), а M принимают по табл.4 в зависимости от номера звена подвижного электрода.

Результаты ЭДЗ представляют в виде графиков изменения значения условного динамического сопротивления и силы тока в зависимости от глубины исследования.Графики строят в следующих масштабах:

глубина погружения подвижного электрода I:20;

величина условного динамического сопротивления в I см - I0 кгс/см^2;

сила тока в I см - 0,I мА.

3.4I. Инженерно-геологическую информацию об исследуемых грунтах получают путем совместной интерпретации графиков силы тока и условного сопротивления динамической пенетрации.По изменению величины тока устанавливают глубину залегания слоев грунта различного литологического состава и состояния.Результаты динамической пенетрации используют, в основном,для определения относительной плотности грунтов.

В настоящее время использовать таблицы,приведенные в СН 448-72,для определения физико-механических свойств грунта по результатам ЭДЗ не рекомендуется.Однако в процессе накопления опыта и результатов сопоставительных испытаний,полученных с установками ЭДЗ и стандартной пенетрации(диаметр наконечника 74 мм),а также контрольных определений аналогичных свойств грунта лабораторными или полевыми методами будут разработаны переходные коэффициенты,которые позволят по результатам ЭДЗ давать оценку физико-механическим свойствам грунтов.

Совместная интерпретация получаемых с установкой ЭДЗ параметров(удельной электропроводности и сопротивления динамической пенетрации) повышает достоверность и однозначность результатов обследования. Так, текучепластичные и неуплотненные суглинки,характеризующиеся одинаковой величиной $Р_д$, различаются по величине электропроводности. Торф и глина, имеющие в ряде случаев одинаковую электропроводность, различаются по величине $Р_д$ и др.

3.42. Точность определения глубины залегания границ грунтов различного литологического состава по данным ЭДЗ такая же,как и в методе ЭКЗ(см.п.3.33).Точность определения границ грунтов различного состояния в 2-3 раза ниже.

4.СЕЙСМОРАЗВЕДКА

Предпосылки использования сейсморазведки

4.1. При обследовании земляного полотна применяют метод первых вступлений (МПВ) и корреляционный метод преломленных волн (КМПВ), основанный на прослеживании полезных волн в области последующих вступлений: нескольких преломленных волн от разных преломляющих границ или двух типов волн от одной границы.

4.2. Изучаемые сейсмические параметры – скорости распространения продольных и поперечных волн. Физической предпосылкой применения сейсморазведки при изучении строения и состояния насыпи является отличие грунтов по скорости распространения в них упругих волн.

4.3. Сейсмическая модель эксплуатируемой насыпи из связных грунтов может быть представлена в следующем виде.

Первый слой под рельсошпальной решеткой, состоящей из щебеночного материала, характеризуется скоростью распространения упругих волн около 100–200 м/с. Мощность этого слоя 0,3–0,7 м. Ниже следует песчано-гравийный балласт со скоростью распространения упругих волн 300 – 600 м/с. Мощность балластной "шапки" составляет 1–2 м, достигая иногда 3–5 м, а для высоких насыпей – даже 8 м.

Балластные шлейфы в зависимости от влажности грунтов имеют следующие скорости распространения упругих волн: маловлажный поверхностный слой 120–250 м/с, влажный – 250–400 м/с.

В суглинке, слагающем тело насыпи, скорости распространения упругих волн изменяются от 300–700 м/с при его мягкопластичном состоянии до 1000–1400 м/с при более плотном состоянии.

Аппаратура и оборудование

4.4. Сейсмическая аппаратура для инженерно-геологических исследований железнодорожных насыпей должна удовлетворять следующим основным требованиям:

обеспечивать фильтрацию колебаний в полосе частот 30–150 Гц;

иметь разрешающую способность, позволяющую выделять и прослеживать различные волны на осциллограмме при минимальном расстоянии между сейсмоприемниками 0,5 м;

усиливать сигналы от сейсмоприемников в 20–120 раз;

иметь многоканальную запись на осциллограмме, дающую возможность проводить корреляцию волн.

4.5. Для обследования насыпей могут быть рекомендованы серийные станции СС-24-П и "Поиск-1-6/12 АСМ-ОВ", которые позволяют одновременно регистрировать колебания соответственно в 24 и 12 точках дневной поверхности. Сейсмическая аппаратура устанавливается на автомашинах повышенной проходимости.

4.6. Для более точного снятия времен с осциллограмм, полученных с помощью сейсмических станций, скорость протяжки фотобумаги должна быть не ниже 0,5–0,6 м/с, а в ряде случаев – увеличена до 2,5 м/с.

4.7. При инженерно-геологическом обследовании насыпей может быть использована одноканальная сейсмическая установка ОСУ-1. Она позволяет снимать время прихода первых вступлений волн визуально на электронно-лучевой трубке. Небольшая масса комплекта установки (около 40 кг) дает возможность переносить ее вручную.

Однако ОСУ-1 обладает существенно меньшими разведочными возможностями из-за сложности анализа волновой картины. Особенно большие трудности возникают при наличии помех, так как в ОСУ-1 отсутствуют частотные фильтры.

4.8. Рациональным является комплексное использование одноканальной и многоканальной аппаратуры. С помощью ОСУ-1 получают общее представление об исследуемом объекте, а для детального расчленения разреза лучше применять многоканальные сейсмические станции. Кроме ОСУ-1, могут быть использованы и другие портативные сейсмические установки [16].

4.9. Для регистрации упругих волн используют сейсмоприемники СВ-130, СВ-110, СГ-110, СПЭД-56, "Светлячок"и

др., выпускаемые серийно отечественной промышленностью. Эти приборы имеют небольшую массу, удобны при установке в грунт, надежны в полевых условиях и при транспортировке.

4.10. С регистрирующей аппаратурой сейсмоприемники соединяют сейсмическими косами, рассчитанными на максимальный шаг сейсмоприемников 3 м. Более редкий шаг при детальном обследовании не используется, так как в этом случае может быть затруднена надежная корреляция волн.

4.11. Колебания в теле насыпи возбуждают ударами кувалд массой 5–10 кг по грунту или металлической или деревянной подставке. Сила удара не влияет на форму записи колебаний, а проявляется только на четкости первых вступлений и амплитудах упругих волн.

4.12. Отметка момента удара осуществляется инерционным контакторным устройством, смонтированным на ручке кувалды. При ударе кувалды о грунт контактор размыкает электрическую цепь и этот момент фиксируется на осциллограмме сейсмостанции или на экране электронно-лучевой трубки одноканальной установки ОСУ-1, обладающей длительным послесвечением. Кроме того, отметка удара может быть осуществлена от сейсмоприемника, установленного непосредственно вблизи места удара и подключенного без усилителя и фильтра непосредственно к низкочувствительному гальванометру осциллографа сейсмостанции. Такой способ позволяет получить на осциллограмме запись резкого импульса с четким обозначением начала возбуждения колебаний грунта.

Методика наблюдений

4.13. Основным видом наблюдений является продольное профилирование, при котором пункты ударов (ПУ) располагают на одной линии с пунктами наблюдений. При исследовании основной площадки продольное профилирование может дополняться непродольным, при котором ПУ располагается в стороне от линии наблюдений, на обочине.

4.14. В зависимости от глубины исследования и сейс-

могеологических условий определяется длина профиля участка работ. При изучении глубины около 10–15 м профили составляют 40–60 м. Расстояния (шаг) между сейсмоприемниками ΔX в зависимости от детальности изучения разреза находится в пределах от 0,5 до 3 м. Наиболее часто ΔX принимается равным 1 м (рис.16).

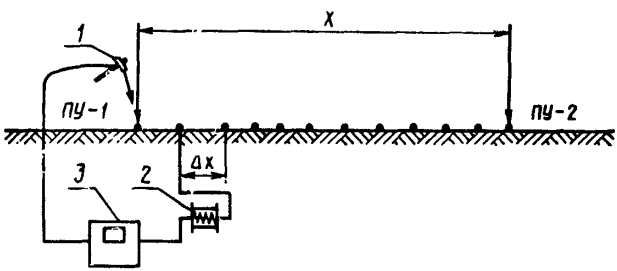


Рис.16. Система сейсмических наблюдений при работе с ОСУ-1:
1 – кувалда с инерционным прерыванием; 2 –катушка с кабелем; 3 – аппаратура ОСУ-1

4.15. При исследовании земляного полотна методом преломленных волн применяют встречные и нагоняющие системы наблюдений. Рекомендуемая выше длина профиля обеспечивает приход преломленных волн из каждого ПУ в первых вступлениях. При нагоняющей системе наблюдений пункт удара желательно относить от ближайших сейсмоприемников на расстояние X .

4.16. При использовании одноканальной установки измерения выполняют одним из двух способов:

1. ПУ – неподвижен, а сейсмоприемник передвигается по профилю наблюдений.

2. Сейсмоприемник неподвижен, а ПУ передвигается по профилю наблюдений.

Первый способ более эффективен, но требует двух рабочих на профиле. Для применения второго способа требуется один рабочий. Кроме того, он удобен, если трудно обеспечить контакт сейсмоприемников с грунтом.

4.17. При обследовании насыпи на поперечниках сейсмические профили располагают вдоль оси пути, вблизи рельсовых нитей, на обочинах и откосах, а для двухпутных участков – по междупутью. Вдоль пути расстояние между поперечниками может быть различным, в зависимости от задач обследования и состояния насыпи.

4.18. Порядок выполнения работ следующий. Одновременно с разметкой профиля и установкой сейсмоприемников в грунт с шагом ΔX включается сейсмостанция и контролируется работоспособность электрической схемы в целом. После этого проверяется чувствительность сейсмических каналов и наличие помех, надежность отметки возбуждения по пробным ударам и телефонная связь между пунктом наблюдения и сейсмической станцией. Для выбора режима работы сейсмостанции проводятся контрольные записи, которые проявляются в полевых условиях в проявочной камере. Затем проводятся систематические наблюдения по описанной методике.

Интерпретация результатов

4.19. Интерпретация материалов состоит в корреляции волн и их распознавании, построении годографов, вычислении скоростей распространения упругих волн и определении глубин до преломляющих горизонтов.

4.20. Выделение каждой из наблюдаемых волн или корреляцию волн выполняют путем последовательного рассмотрения и прослеживания особенностей волн по всему профилю в каждой точке. Основным критерием для выделения на осциллограмме волны является синфазность колебаний, т.е. плавное изменение времени прихода данной фазы волн в последующие точки наблюдения.

4.21. Когда из-за интерференции корреляция волн затруднена, необходимо делать по нескольку записей, для разных ПУ при различных усилении и полосе пропускания каналов. Иногда корреляция волн бывает затруднена из-за слишком большого расстояния между сейсмоприемниками.

4.22. При обработке осциллограмм снимают времена прихода волн в первых вступлениях (рис.17). Если выделение вступлений затруднено, то снимают времена последующих фаз этих волн с внесением поправки Δt_φ за фазу. По полученным значениям времен t_i строят годографы (рис.17б).

4.23. Интерпретацию материалов выполняют либо исходя из модели однородно-слоистой среды, когда зарегистрированные волны можно считать за чисто преломленные, либо - градиентной среды, когда волны принимаются за рефрагированные. В первом случае интерпретацию выполняют способами t_o и разностного годографа и по встречным годографам.

Для случая градиентной среды интерпретация годографов может быть выполнена по способам С.В.Чибасова и О.К.Кондратьева [7].

4.24. При определении границы между балластным слоем и грунтом насыпи различия между сейсмическими данными и результатами бурения не превышали 10%. При неблагоприятных грунтовых условиях и при наличие помех (особенно при измерениях ОСУ-1) эти различия могут быть в 1,5-2 раза больше.

5. КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

5.1. Разнообразие возможных деформаций эксплуатируемых насыпей в ряде случаев не позволяет решать задачи инженерно-геологического обследования с достаточной полнотой и точностью при использовании какого-либо одного из геофизических методов. Более полные данные, как правило, можно получить лишь при комплексном применении различных геофизических методов.

5.2. При выборе рационального комплекса необходимо руководствоваться эффективностью методов в конкретных геоэлектрических и геосейсмических условиях, точностью получаемых результатов, более высокой безопасностью работ и технико-экономической целесообразностью применения тех или иных методов.

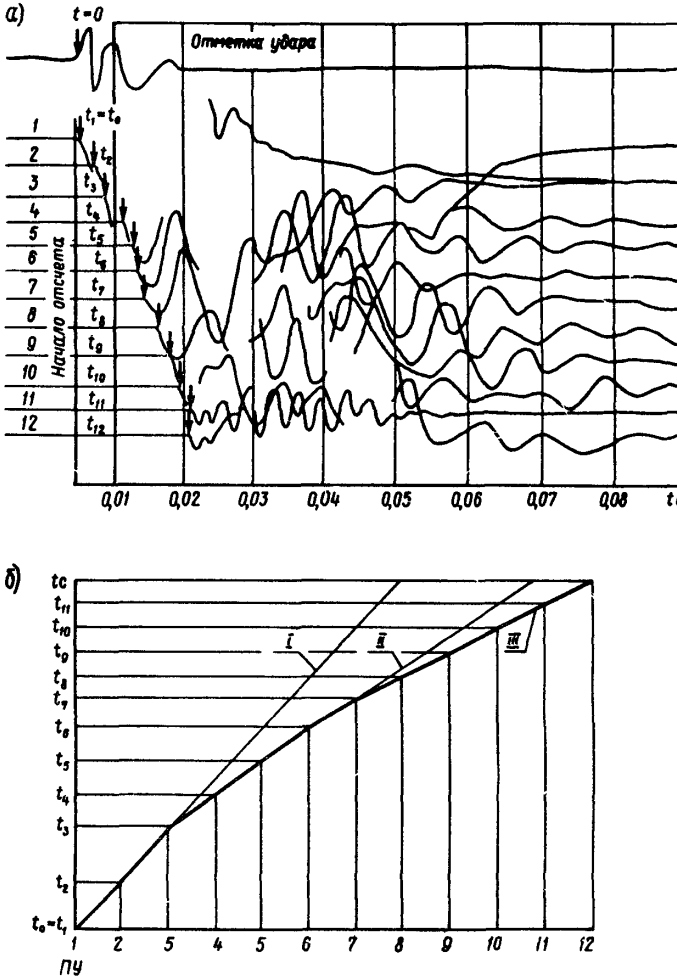


Рис.I7. Осциллограма колебаний грунта (а) и годограф (б), полученные при обследовании насыпей методом преломленных волн: I-I2 - номера сейсмоприемников; I - первый слой, V_1 = I80 м/с; II - второй слой, V_2 =285 м/с; III - третий слой, V_3 =400 м/с.

5.3. Для определения конфигурации подошвы балластного слоя, в том числе при выявлении и оконтуривании балластных корыт, лох, мешков и гнезд [18,19], применяют метод ЭКЗ с одноконтактным коническим электродом. При решении более сложных задач, требующих определения состава и состояния грунта насыпи, рекомендуется применять метод ЭДЗ и сейсморазведку.

5.4. Для выявления и оконтуривания ослабленных зон в теле насыпи применяют ЭДЗ и сейсморазведку [20].

5.5. Насыпи, возведенные из крупнообломочного материала, обследуют методом ВЭЗ и сейсморазведки.

Эти же методы применяют для определения величины осадки и конфигурации подошвы насыпи, возведенной на слабых грунтах.

Величину осадки песчано-глинистых насыпей с включением крупнообломочного материала не более 40% и высотой до 7 м можно определить по данным ЭКЗ или ЭДЗ.

5.6. Для выявления и оконтуривания линз мерзлых грунтов в теле насыпи применяют методы ЭП и ВЭЗ, реже сейсморазведку. По результатам ЭП оконтуривают мерзлые породы или погребенные льды по площади, по данным сейсморазведки определяют глубину залегания кровли мерзлых пород, по данным ВЭЗ – глубину залегания кровли и подошвы мерзлых пород.

5.7. Для литологического расчленения грунтов основания насыпи в зависимости от геосейсмических и геоэлектрических условий применяют сейсморазведку или метод ВЭЗ.

5.8. Мощность слоя слабых грунтов (торфа, сапропелей, илов, ильдиевых глин и др.), подстилающих насыпь, определяют по результатам ЭКЗ, ВЭЗ и сейсморазведки. Относительную устойчивость обводненных песчаных грунтов оценивают по данным ЭДЗ.

5.9. Мощность крупноглыбовых осыпей, россыпей и курумов на косогорных участках, определяют по данным ВЭЗ и сейсморазведки.

5.10. Для выявления и оконтуривания закарстованных участков и подземных льдов в грунтах основания насыпи

применяют методы ВЭЗ и ЭП с двумя разносами питающих линий.

5.11. Оползневые участки изучают по результатам сейсморазведки и ЭДЗ, реже применяют ВЭЗ и ЭП.

Приложение I

ПРИМЕРЫ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ НАСЫПЕЙ

Результаты сейсмического обследования высокой насыпи

Обследованный участок насыпи протяжением 550 м и высотой до I3 м был построен в I9I2-I9I3 гг. Верхнее строение пути представлено рельсами Р-50, деревянными шпалами с эпюрой 2000 шт./км и щебеночным балластом толщиной до 50 см на мощной песчано-гравийной подушке.

Тело насыпи отсыпано из темно-серых сильно гумусированных суглинков в нижней части и из желто-бурых и желто-серых легких пылеватых суглинков в верхней. Граница между указанными грунтами неровная. На контакте с балластным шлейфом суглинки имеют текучепластичную консистенцию.

Основание насыпи представлено илистыми аллювиальными суглинками с примесью более тяжелых голубовато-серых суглинков. Илистые суглинки в момент обследования соответствовали мягкопластичной и тугопластичной консистенции. Голубовато-серые тяжелые суглинки, а также прослои илистых суглинков в нижней части насыпи обладают тугопластичной консистенцией. Подземные воды встречены на глубине 0,8-I,5м в грунтах основания насыпи. Водовмещающими породами являются различные аллювиальные суглинки, залегающие под ними линзовидные прослои гравелистых песков и трещиноватые среднесарматские известняки.

По имеющимся данным, за весь период эксплуатации железнодорожного пути (до I969 г.) каких-либо резких просадок и боковых сдвижек не наблюдалось, однако за это время произошла постепенная осадка насыпи. В середине июля I969 г. после выпадения интенсивных дождей, продолжавшихся в течение трех суток, произошел значительный оплыв левого откоса на протяжении 26 м, захвативший основную площадку до оси пути на протяжении 25 м. Насыпь была разрушена на глубину 2 м. Объем сместившегося грун-

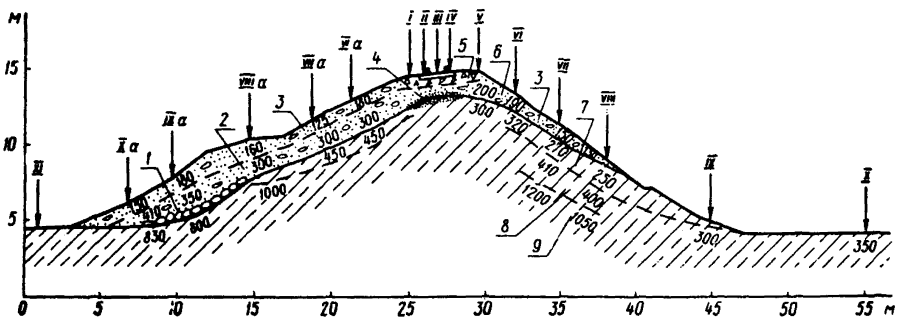


Рис.I. Сейсмический разрез насыпи одного из участков Юго-Западной железной дороги:
I-X - сейсмические профили; I-9 - номера выделенных слоев; цифры на разрезе - скорость распространения упругих волн, м/с

Таблица I

Сейсмические профили	Номер слоя	Грунт	Значения статистических характеристик скоростей распространения упругих волн, м/с, в насыпи				
			Минимальное	Максимальное	Среднее	Среднее квадратическое отклонение	Коэффициент вариации
По основной площадке	I	Щебень гранитный	II0	I70	I30	2I	0,I62
	2	Балласт песчано-гравийный	260	5I0	340	76	0,224
	3	Увлажненная зона контакта песчаного балласта с суглинком	4I0	II00	750	73	0,097
По откосам насыпи	4	Балласт песчано-гравийный маловлажный	I25	250	I80	42	0,233
	5	Балласт песчано-гравийный влажный	250	4I0	320	52	0,I62
	6	Увлажненная зона контакта балласта с суглинком (левый откос)	680	I000	790	II0	0,I40
	7	Суглинок темно-серый, гумусированный, нарушенной структуры	220	360	280	49	0,I75
	8	Суглинок буровато-серый, плотный мягкопластичный	320	680	430	II6	0,270
	9	Суглинок темно-серый плотный, пластичный (ядро насыпи)	I050	I400	II80	I36	0,II6

та составил около 800 м^8. После спльва на этом участке откос был восстановлен каменной наброской с досыпкой песчаным балластом.

Результаты сейсмической разведки этой насыпи представлены в виде сейсмогеологических разрезов (рис.I) и статистических характеристик скоростей распространения упругих волн (табл.I). Анализ этих материалов показал, что может быть выделена граница между балластной шапкой и шлейфами на откосах и грунтом тела, а также слои песка (2 и 3) в шлейфе, различные по влажности, и увлажненная зона контакта балласта с суглинком на левом откосе (I).

В теле насыпи на границе со шлейфами прослеживается слой мягкопластичного суглинка мощностью 0,8-I,2 м (слой 7), представляющего зону повышенной влажности. По сейсмическим данным, подтвержденным материалами пенетрации, эта зона,по сравнению с окружающим грунтом,является ослабленной по прочности.

Не исключено, что изменение условий эксплуатации этой насыпи или неблагоприятные климатические условия могут привести к сползанию правого откоса насыпи. Поэтому для повышения устойчивости необходима присыпка к правому откосу этого участка насыпи контрбанкета.

В ядре насыпи выделены разные по плотности суглинки (слой 8 и 9), о чем свидетельствует разная скорость распространения в них упругих волн.

Несовпадения данных по обследованию опытной насыпи методами сейсморазведки и бурения находились в пределах ± I0%.

Определение мощности дренирующего слоя и состояния грунтов насыпи по данным Э Д З

Метод ЭДЗ применяли для обследования левого откоса насыпи, описанной выше. Зондирования выполнены установкой ЭКЗ ЦНИИС. Сопротивление динамической пенетрации определялось при погружении электрода ударами груза массой I0 кг, сбрасываемого с высоты 0,5 м. Условное динамическое сопротивление $P_д$ рассчитывалось по формуле (3), значение M взято из табл.4. Рабочие графики тока и пенетрации строи-

лись в масштабах в I см – 0,I мА и в I см – I0 кгс/см^2. Глубина зондирования откладывалась в масштабе I:20.

Насыпь по литологическому составу грунтов расчленена по результатам интерпретации графиков силы тока (рис.2). Сила тока в песках изменяется от 0,02 до 0,I мА, в суглинках – от 0,5 до I мА. В песках,содержащих глинистые частицы, сила тока иногда увеличивается до 0,3 мА.

Состояние грунтов насыпи определялось, в основном, по данным динамической пенетрации. Пески балластного шлейфа при $P_д < 30$ кгс/см^2 относятся к рыхлым пескам, при $30 < P_д < 120$ кгс/см^2 – к пескам средней плотности. Резкая дифференциация графика пенетрации в пределах балластного слоя обусловлена значительным (более 30%) содержанием гравийно-галечного материала и включением отдельных глыб известняка, отсыпанных при восстановлении сплывшего откоса насыпи. Значения $P_д$ и J в зависимости от консистенции суглинков, согласно данным бурения и результатам статистической обработки десяти ЭДЗ, приведены в табл.2.

Таблица 2

Суглинки	$P_д$,кгс/см^2	J, мА
Тугопластичные	35–90	0,6–0,7
Мягкопластичные	I5–35	0,7–0,8
Текучепластичные	5–I5	0,8–I,0

По результатам ЭДЗ мощность песчаного шлейфа на исследуемом откосе изменяется от I,7 до 2,7 м. Ошибки в определении глубины залегания подошвы песчаного шлейфа, согласно данным бурения,не превышают $\pm$ 5 см. На глубине 0,5–I м песок балластного шлейфа рыхлый и содержит менее I0% гравийно-галечного материала, глубже – песок средней плотности и содержит значительное (более 40%) количество гравия и гальки, а также отдельные глыбы известняка.

На границе с песчаным балластом слой суглинка мощностью от 0,2 до 0,5 м находится в текучепластичном сос-

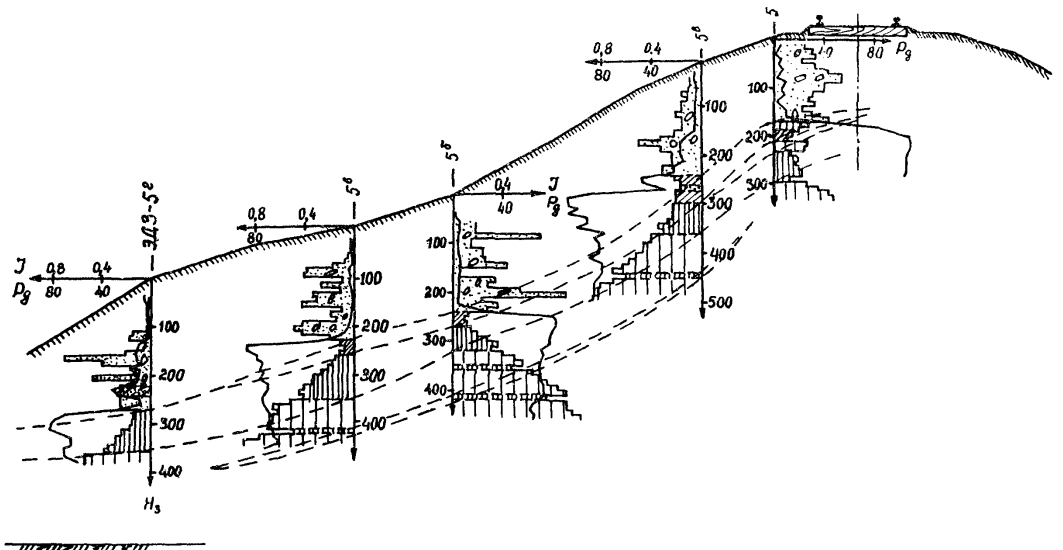


Рис.2. Результаты обследования насыпи методом ЗДЗ

- песчано-гравийный балласт; - суглинок текучепластичный; - то же мягкопластичный; - то же тугопластичный; - основание насыпи; - границы суглинка различной консистенции; -JмА; - $P_д$, кгс/см^2; $H_э$ - глубина зондирования, см

тоянии. С увеличением глубины консистенция их постепенно изменяется от мягкопластичной до тугопластичной. Среди тугопластичных суглинков на глубине 4-5 м выявлен маломощный прослой мягкопластичных суглинков. Мощность его около 20 см. Он прослеживается параллельно поверхности откоса насыпи и при неблагоприятных гидродинамических условиях может способствовать образованию новой плоскости сплыва насыпи. Этот прослой суглинка при обследовании откоса насыпи другими методами, в том числе и по результатам бурения, выявлен не был.

Определение мощности дренирующего слоя грунта по данным ВЭЗ и ЭП

Наблюдения проведены по оси пути на перегоне Жилево-Воскресенск Московской окружной железной дороги. Балластный слой представлен мелкозернистым песком. Мощность его колеблется от 2 до 3,5 м. Тело насыпи сложено пылеватыми тяжелыми суглинками. Высота насыпи на участке обследования изменяется от 10 до 12 м.

Мощность дренирующего слоя определяли по результатам интерпретации кривых ВЭЗ и графиков ЭП. ВЭЗ выполнены у имеющихся скважин. Типичная кривая ВЭЗ показана на рис.9 в тексте Методических рекомендаций. Разносы питающих и приемных линий установки ЭП следующие: $AB' = 7$, $AB = 14$, $MN = 2$ м. Шаг наблюдений 2 м.

В результаты измерений методами ВЭЗ и ЭП вводили поправки за уровень помех и влияние конфигурации насыпи. Для количественной интерпретации графиков ЭП использовались номограммы В.М.Гороховского [12] и Милоша Кароуса [13].

Максимальные ошибки в определении глубины залегания подошвы дренирующего слоя по данным ВЭЗ составляют 9% по данным ЭП - 12% по сравнению с результатами бурения.

Геоэлектрический разрез верхней части насыпи исследуемого участка, составленный по данным ВЭЗ и ЭП, показан на рис.3.

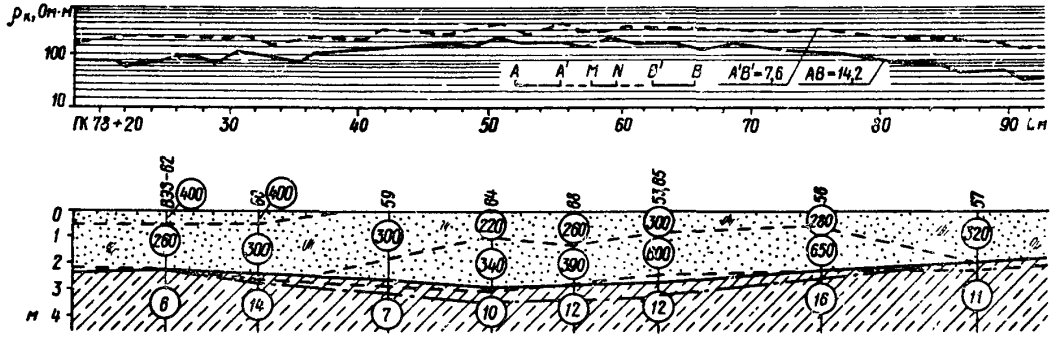


Рис.3. Геоэлектрический разрез верхней части насыпи, составленный по данным ВЭЗ и ЭП

▭ – песок; ▨ – песок с примесью пылеватых частиц; ▨ – суглинок; цифры в кружочках – удельное электрическое сопротивление грунта, Ом·м; ——— – глубина залегания подошвы балластного слоя по данным бурения; — — — – то же по данным ВЭЗ; •—•—•– то же по данным ЭП

Определение величины осадки насыпи в торф по данным ЭДЗ

Результаты определений величины осадки насыпи в торф по данным ЭДЗ приведены на рис.4. Опыты проведены между станциями Навля и Алтухово Московской железной дороги. Насыпь на участке исследований отсыпана из мелкозернистого песка с включением гальки и прослоями опоковидных глин. Зондирование выполняли одноконтактным наконечником. Электрод погружался ударами груза массой 7 кг. Груз сбрасывали с высоты 0,5 м. Питание установки и измерение силы тока осуществляли с помощью генератора АНЧ-I. Неподвижный электрод заземляли в торф за пределами насыпи.

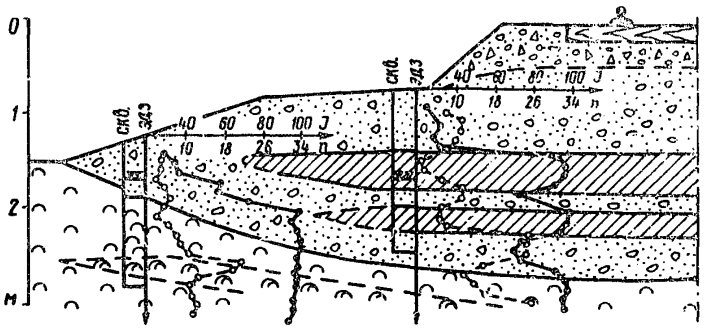


Рис.4. Определение величины осадки насыпи в торфе

- щебень; - песок; - глина; - торф сильно разложившийся; - торф слаборазложившийся; - кривая тока; - кривая пенетрации

Электропроводность глин и торфа примерно одинаковая, что затрудняет их расчленение по графику силы тока, но они имеют разное сопротивление динамической пенетрации.

При зондировании глин для погружения электрода на 10 см достаточно от 1 до 6 ударов, при зондировании торфа – от 6 до 25. По количеству ударов можно отличить сильноразложившийся торф (6–12 ударов) от слаборазложившегося (12–25 ударов). Пески и глины различаются по степени электропроводности. В слабовлажных песках регистрируют силу тока 15–25 , обводненных 60–70 , в глинах 95–100 мА. При определении уровня грунтовых вод учитывали высоту капиллярного поднятия, которая для данного песка равна 20 см. Границы между песком и глиной установлены по графику силы тока, глубина залегания подошвы насыпи – по результатам совместной интерпретации графика силы тока и данных пенетрации. Ошибки в определении глубины залегания литологических границ по ЭДЗ, согласно данным контрольных скважин, не превысили 5 см.

Приложение 2

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ ЭКЗ

Конструкция и рабочие чертежи установки ЭКЗ с двухконтактным и одноконтактным наконечниками разработаны в лаборатории инженерной геологии и геофизики совместно с ПКБ ЦНИИСа (авторы: В.Я.Пригода, Б.С.Васильченко, Г.О.Долгов). При конструировании установки учитывались основные требования к оборудованию изыскательских партий по габаритам, массе, экономичности питания и транспортабельности. Опытные образцы ее изготовлены на экспериментальном заводе ЦНИИСа. Общий вид установки показан на рисунке.

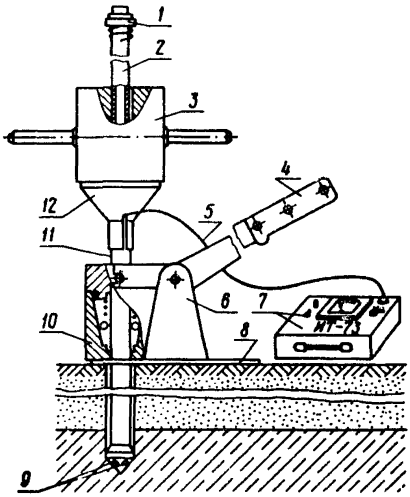
Для зондирования на верхний торец подвижного электрода надевают упор для груза. Груз массой M_r= 10 кг сбрасывают по направляющей штанге с высоты H'= 0,5 м. Ток замеряют в миллиамперах через каждые 10 см погружения электрода и подсчитывают количество постоянных по силе ударов груза в залоге, необходимых для определения величины условного динамического сопротивления $P_д$.

Электрод извлекают специальным (извлекающим) устройством. В корпусе самозахватывающего механизма извлекающего устройства имеются шарики, которые при рабочем ходе рычага заклинивают электрод, а при холостом - освобождают его, создавая дискретное перемещение последнего до полного извлечения.

Подвижный электрод изготавливают из метровых или полуметровых звеньев бесшовных, холоднотянутых труб сечением 22х6 (ГОСТ 8734-50). Звенья сочленяют посредством резьбы, концы их цементируют. При использовании более тонкостенных труб на концах звеньев делают переходные муфты.

Двухконтактный конический наконечник имеет цельнометаллический стальной корпус с наружным диаметром 35,6мм (площадь поперечного сечения 10 $см^2$) и углом при вершине 60^0. Изолированные от корпуса наконечника круглые латунные контакты диаметром 9 мм расположены в нижней конической части наконечника, в зоне максимал[illegible] уплотнения

грунта. Это обеспечивает постоянство и надежность их электрического контакта с исследуемым грунтом. Толщина изоляционного слоя между корпусом наконечника и контактами должна быть не менее I мм, для обеспечения сопротивления утечке - более 3 МомДля соединения изолированных контактов с измерительной аппаратурой используют кабель ШРПЛ 2х0,5 (ГОСТ I3497/68),кабель КПЭР 2х0,35(ТУКП-003-66) и др.



Общий вид установки ЭКЗ:
I - ограничитель высоты подъема груза; 2 - направляющая штанга; 3 - груз; 4 - рычаг извлекающего устройства; 5 - провод, соединяющий изолированные контакты с измерительным прибором; 6 - стойка, 7 - измерительный прибор ИТ-73; 8 - опорная плита; 9 - двухконтактный наконечник; I0 - самозахватывающий механизм; II - подвижной электрод; I2 - упор для груза

Диаметр наконечника в I,5 раза больше диаметра несущих штанг, что уменьшает (а при глубине зондирования до

3-5 м исключает) боковое трение штанг о грунт при проведении динамической пенетрации.

Погружая подвижной электрод постоянными по силе ударами определяют два параметра: удельную электропроводность грунтов и сопротивление их динамической пенетрации.

Техническая характеристика

Глубина зондирования . . . . . 7-10 м
Максимальные усилия извлечения . . . . 1 т
Производительность . . . . . 20-30 пог.м в смену
Пределы измерения силы тока . . . . . от 0,001 до 3 мА

Ошибки определения границ грунтов различного литологического состава
при залоге 10 см . . . . . ± 5 см
-"- 5 см . . . . . ± 2,5 см

Габаритные размеры и масса установки приведены в таблице.

Блок	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
Цилиндрический электрод с двухконтактным наконечником	ℓ_1 =7000 d = 22	17
Конический электрод с одноконтактным наконечником	ℓ_1 =4000 d = 22	9,5
Упор для груза	d =20,40,100 ℓ_1 = 850	4,5
Груз	h_1 =115 d =118	10
Извлекающее устройство	ℓ_1 =1080 h_1 =160	8
Измеритель тока ИТ-73	250x175x65	2,7

ℓ_1 - длина, h_1 - высота, d - диаметр

ОПИСАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПРИБОРА ИТ-73

Прибор ИТ-73 входит в комплект установки электроконтактного зондирования. Он предназначен для измерения силы тока, пропускаемого через изолированные контакты в исследуемый грунт. По сравнению с серийной геофизической аппаратурой ЭСК-I и АНЧ-I прибор ИТ-73 более устойчив к электрическим помехам и имеет значительно меньшую массу.

Принципиальная электрическая схема прибора приведена на рисунке.. Он состоит из задающего РС - генератора (T_I и T_2), эмиттерного повторителя (T_3), усилителя мощности (T_4) и микроамперметра (мА).

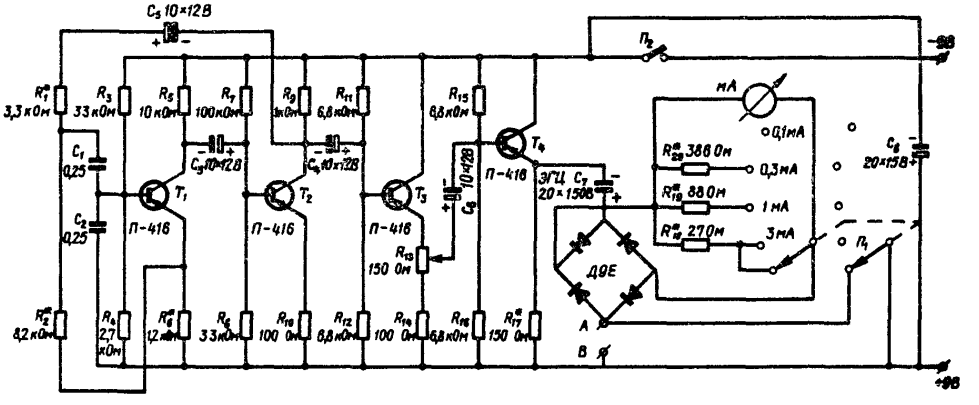
Каскады T_I и T_2 задающего генератора собраны на транзисторах П-4I6, между которыми (посредством конденсатора C_5 и сопротивления R_6) осуществляется обратная положительная связь. Изменяя C_5 и R_6 до полного насыщения между каскадами T_I и T_2, получают импульсы напряжения прямоугольной формы с частотой 200 Гц.

Импульсы напряжения задающего генератора подаются на эмиттерный повторитель T_3, который согласует высокоомный выход генератора с низкоомным входом усилителя мощности T_4. Усилитель мощности работает в режиме эмиттерного повторителя. Такая схема прибра обеспечивает согласование выхода прибора с внешней прилагаемой нагрузкой.

Высокочастотные транзисторы типа П-4I6, применяемые в каскадах T_I-T_4, можно заменить маломощными низкочастотными транзисторами типов МП-26, МП-38, МП-4I, МП-42 и др.

На приведенной схеме сопротивления R_{I1}, R_{I2}, R_{I5} и R_{I6} способствуют стабилизации тока в цепи питания базы триодов T_3 и T_4 при изменении температуры. Потенциометр R_{I3}=I50 Ом служит для регулировки низкочастотного напряжения на выходе прибора.

Конденсаторы C_6 и C_7 служат для разделения переменной и постоянной составляющих тока и являются фильтрами.



Электрическая схема измерительного прибора ИТ-73

Постоянная составляющая подается через сопротивление R_{17} на массу прибора, а переменная (через клеммы А и В) – на изолированные контакты наконечника подвижного электрода установки ЭКЗ.

Последовательно с внешней нагрузкой в цепь эмиттера T_4 через выпрямитель, собранный по схеме моста на диодах Д9Е, включен микроамперметр типа М-24 чувствительностью 100 мкА.

Микроамперметр работает при четырех пределах измерений : 100, 300, 1000 и 3000 мкА. Первый предел определяется чувствительностью прибора, три последующих устанавливаются шунтами соответственно R^*_{20}= 38Ом, R^*_{19}= 88 и R^*_{18}=270м. При переключении пределов измерений ключем $П_I$ одновременно разрывается общая цепь измерительного прибора, что предотвращает броски стрелки.

Прибор ИТ-73 питается от шести последовательно включенных элементов 373 (типа "Сатурн") напряжением 9 В. Элементы расположены внутри корпуса прибора. Выводы от элементов припаяны к гнездам разного диаметра, что позволяет подключать прибор, сохраняя постоянную полярность. Напряжение источников питания считается нормальным, если на пределе измерений 3000 мкА при замкнутой цепи АВ стрелка микроамперметра устанавливается на делении 100. Регулируется напряжение потенциометром R_{13}.

Максимальный потребляемый ток прибора 50 мА. Это обеспечивает непрерывную работу его с одним комплектом батарей в течении 100 ч. Габаритные размеры прибора 250 х 170 х 60 мм, масса с комплектом питания 2,7 кг.

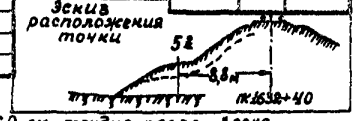
Приложение 4

Образец заполнения полевого журнала при ЭДЗ

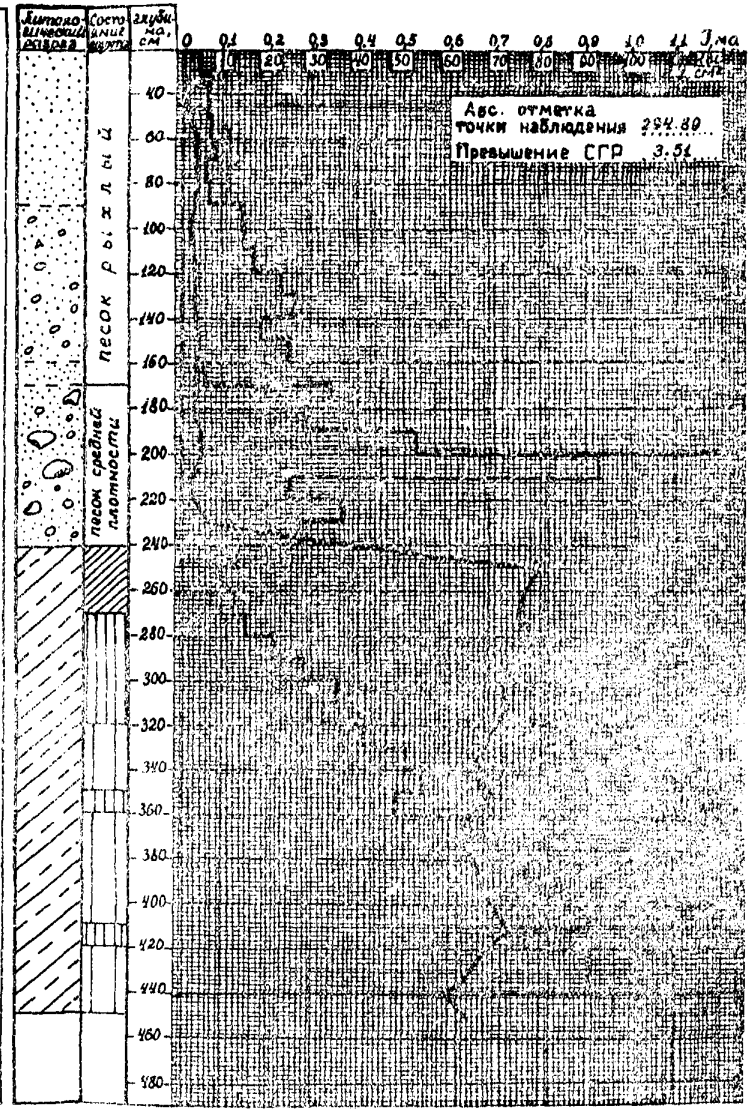
Точка зондирования № 5а Дата 27.07.73
Участок работ перегон Гречаны-Ларга Ю-Запад. ж.д.
км 464 ПК 1632+40 лев 8,8м Начало 10³⁰ Оконч. 11¹⁰
Погода ясная Измерит. прибор ИТ-73
Масса груза 10 кг Высота падения груза 0,5 м
Штанги 22×6 Наконечник 2-х конт., d = 35,6

N штанг	H см	Jма	n	Q	Pg=Q·n кгс/см²	N штанг	H см	Jма	n	Q	Pg=Q·n кгс/см²
1	20	0,015	1,5		5	4	340	0.66	контр.	—	—
	30	0,02	2,0		6,6		340	0,65	19		54
	40	0,02	2,0		6,6		350	0,69	17		48
	50	0,03	2,2		7,3		360	0,65	23		65
	60	0,043	2,5		8,5		370	0,63	25		71
	70	0,042	2.0		6,6		380	0,67	27	2,84	77
	80	0,05	2,2	3.3	7,3		390	0,68	30		85
	90	0,043	4,5		15		400	0,70	32		91
	100	0,035	4.5		15		410	0,74	27		77
	110	0,04	5.0		16,5		420	0,68	32		91
	120	0,043	7.0		23		430	0,65	32		91
	130	0,04	8.0		26		440	0,59	34		96,5
	140	0,049	контр.	—	—		450	0,65		—	
2	140	0,047	6.0		19.7						
	150	0,048	8.0		25						
	160	0,045	2.0		6.2						
	170	0,047	11		34						
	180	0,043	9.0		28						
	190	0,055	17	3,11	53						
	200	0,055	30		93						
	210	0,04	8.0		25						
	220	0,042	12		37						
	230	0,077	9.		28						
	240	0,29	контр.	—	—						
3	240	0,35	4,3		13,5						
	250	0,8	3,2		10,2						
	260	0,77	4.0		12,5						
	270	0,76	5.0		15,5						
	280	0,78	7		22						
	290	0,77	9.0	2.96	28						
	300	0,72	12		35,5						
	310	0,73	11		32,5						
	320	0,7	14		41,5						
	330	0,68	17		50,5						

Эскиз расположения точки



Оператор _____ (подпись)
Проверил _____ (подпись)
Извлечение электрода: 450-360 см - трудно, после легко
Прихват наконечника: в интервале 190-210 см



ОРИЕНТИРОВОЧНЫЕ ДАННЫЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ (из СН 448-72)

Приведенные данные динамического зондирования можно использовать при интерпретации материалов, полученных с установки ЭДЗ. Ими можно пользоваться с учетом поправочных коэффициентов, которые определяют путем сравнения данных динамического зондирования, полученных со стандартной установкой (диаметр наконечника 74 мм) и с установкой ЭДЗ (диаметр наконечника 35,6 мм), а также с результатами определения аналогичных характеристик грунтов лабораторными или полевыми методами.

В настоящем приложении показатели свойств грунтов относятся к кварцевым и кварцево-полевошпатовым пескам с небольшой величиной сцепления (менее 0,1 кгс/см^2) и к глинистым грунтам с содержанием органических веществ менее 10%.

Нормативное давление $R_н$ для песчаных грунтов определяется по табл.14 СНиП II-Б.1-62 в зависимости от плотности сложения грунтов по данным динамического зондирования, приведенным в табл.1.

Таблица 1

Песок	Состав и состояние грунта	$P_д$ кгс/см^2	Плотность сложения грунта
Природного сложения	Крупный и средней крупности независимо от влажности	<35	Рыхлый
		35-125	Средней плотности
		>125	Плотный
	Мелкие маловлажные	<30	Рыхлый
		30-110	Средней плотности

Продолжение табл.I

Песок	Состав и состояние грунта	$P_д$ кгс/см^2	Плотность сложения грунта
Природного сложения	Мелкие маловлажные	>II0	Плотный
	Пылеватые маловлажные и мелкие водонасыщенные	<20	Рыхлый
		20–65	Средней плотности
		>65	Плотный
Свеженамытый (в первый месяц после намыва)	Мелкие и средней крупности маловлажные	<35	Рыхлый
		35–II0	Средней плотности
		>II0	Плотный
	Мелкие и средней крупности водонасыщенные	<20	Рыхлый
		20–85	Средней плотности
		>85	Плотный

Нормативное давление на глинистые грунты $R_н$ кгс/см^2 определяется следующим образом:

$P_д$	$R_н$
I0	I,0
30	2,5
50	4,0
I00	5,5

Нормативный угол внутреннего трения песчаных грунтов $\varphi_н$ определяют по табл.2.

Таблица 2

$P_д$ кгс/см^2	$\varphi_н$, град. для песчаных грунтов		
	крупных и средней крупности	мелких	пылеватых
20	30	28	26
35	33	30	28
70	36	33	30
II0	38	35	32
I40	40	37	34
I75	4I	38	35

Нормативный модуль деформации песчаных грунтов $E^н$ до глубины 6 м определяют по табл.3.

Таблица 3

$P_д$ кгс/см^2	$E^н$ кгс/см^2 для песчаных грунтов		
	крупных и средней крупности	мелких	пылеватых
20	200-160	130	80
35	260-210	190	130
70	390-340	290	220
110	490-440	350	280
140	550-500	400	320
175	600-550	450	350

Нормативный модуль деформации глинистых грунтов $E^н$ кгс/см^2 определяют из выражения

$$E^н = 6 \cdot P_д \quad .$$

Динамическую устойчивость песчаных грунтов, насыщенных водой, определяют по табл.4.

Таблица 4

$P_д$ кгс/см^2		Вероятность разжижения песков при динамических нагрузках
Среднее	Минимальное	
20	7	Большая вероятность разжижения (пески рыхлого сложения, сцепление практически отсутствует)
20-35	7-14	Разжижение возможно (пески рыхлые или средней плотности со слаборазвитым сцеплением)
35-50	14-20	Вероятность разжижения невелика (пески средней плотности с развитым сцеплением)
50	20	Разжижение песков практически невозможно (пески плотные и средней плотности с хорошо развитым сцеплением)

Примечание. Оценка разжижаемости песков производится по средним значениям $P_д$. Учет минимальных значений повышает достоверность прогноза.

Л И Т Е Р А Т У Р А

I.ДРУЖИНИН М.К., ПРИГОДА В.Я. Наставления по инженерно-геологическим изысканиям для проектирования вторых путей. М., изд.ЦНИИСа, 1972.

2. Правила по технике безопасности и производственной санитарии при производстве работ в путевом хозяйстве. М., "Транспорт", 1965.

3. Правила техники безопасности при железнодорожных изысканиях. М., "Оргтрансстрой", 1962.

4. Правила технической эксплуатации железных дорог Союза ССР. М., "Транспорт", 1971.

5. Инструкция по сигнализации на железных дорогах Союза ССР. М., "Транспорт", 1971.

6. Инструкция по технике безопасности при геофизических работах. М., "Недра", 1968.

7.БОЛДЫРЕВ М.В. К учету влияния помех при электроразведке земляного полотна железных дорог методом постоянного тока. В сб.:"Борьба с пучинами на железных и автомобильных дорогах". Труды совещания Комитета по земляному полотну в Новосибирске в октябре 1963 г.М.,"Транспорт", 1965.

8. АНИКИН О.П. Применение сейсморазведки для исследований железнодорожных насыпей. В сб. трудов ЦНИИСа, вып.59. "Вопросы инженерной геологии и геофизики при изысканиях железных и автомобильных дорог". М., 1972.

9. ПРИГОДА В.Я. О применении метода вычитания полей при инженерно-геологических и гидрогеологических исследованиях на изысканиях дорог. М., изд.ЦНИИСа, 1967.

10. РЯПОЛОВА В.А. Методические указания по интерпретации кривых вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ). М., изд.ЦНИИСа, 1972.

11. ПРИГОДА В.Я. Определение просадки насыпей методом вертикальных электрических зондирований. Сообщение № 119"Вопросы гидрогеологии, инженерной геологии и геофизики при изысканиях железных дорог." М.,изд.ЦНИИСа,1958.

I2. ГОРОХОВСКИЙ В.М. Количественная интерпретация данных симметричного электропрофилирования. "Разведка и охрана недр", I964, № 6.

I3. Milos Karous. Určování mocnosti nadloží odporovým profilováním se dvěma rozestupy. Jeologickly průzkum. 2. Praha. 1970.

I4. РЕЗНИКОВ О.М., КОСТЫГОВА А.В. Определение границы между балластным слоем и земляным полотном методом электроконтактного зондирования. Сб. № I9 "Проблемы механики земляного полотна железных дорог." Серия "Вопросы геотехники". М., "Транспорт", I965.

I5. Указания по зондированию грунтов для строительства. СН 448-72.

I6. Портативные сейсморазведочные установки (сравнительные характеристики). Информация "Инженерно-строительные изыскания", сб. № I (30). М., I973.

I7. ГОРЯИНОВ Н.И. Сейсморазведка при инженерно-геологических исследованиях рыхлых пород (методические рекомендации). ВСЕГИНГЕО. М., I97I.

I8. ГРУШЕВОЙ Н.Г. Деформации насыпей. М., Трансжелдориздат, I959.

I9. МОЧЕНОВ Г.М., ТИТОВ В.П. Дефекты, повреждения и разрушения земляного полотна (классификация). М., "Транспорт", I972.

20. КОНШИН Г.Г., ТИТОВ В.П., ХРОМОВ В.И., НАУМОВА Н.В. Напряжения и упругие деформации в земляном полотне под воздействием поездов. Труды ЦНИИ МПС, вып.460. М., "Транспорт", I972.

gost.e-ecolog.ru