

ОРГАНИЗАЦИЯ СОТРУДНИЧЕСТВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ (ОСЖД)

I издание

Разработано экспертами Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу 30 августа – 1 сентября 2011 г.,
Российская Федерация, г. Иркутск

Согласовано совещанием Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу 25 – 28 октября 2011 г.,
Комитет ОСЖД, г. Варшава

Утверждено на XXVII заседании Конференции Генеральных директоров (ответственных представителей) железных дорог 16 - 20 апреля 2012 г., Эстонская Республика, г. Таллинн

Дата вступления в силу: 20 апреля 2012 г.

Примечание: Данная Памятка является обязательной для:
БЧ, КЗХ, КЖД, ЛДЗ, ЧФМ, ПКП, ОАО «РЖД», УЗ

**O+P
760/2**

ДИАГНОСТИКА ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящая памятка может применяться при проведении обследования земляного полотна с применением сейсмического метода.

1.2. Сейсмический метод диагностики основан на изучении закономерностей распространения упругих волн в грунтах насыпей от искусственно создаваемых ударных воздействий. В качестве носителей диагностической информации принимаются продольные волны сжатия (P) и поперечные волны сдвига (S), имеющие скорости распространения соответственно (U_P) и (U_S).

1.3. Физической предпосылкой применения сейсмического метода для диагностики насыпей служит отличие грунтов по скоростям распространения в них упругих волн. Общими закономерностями является следующее:

- наиболее низкие значения скоростей упругих волн имеют место в грунтах, которые не обладают структурной связью или в которых связи между частицами грунта слабые;

- скорости упругих волн повышаются при увеличении плотности скелета при неизменной влажности грунта;

- скорости продольных волн резко возрастают при практической неизменности скорости поперечных волн при переходе рыхлых грунтов от сухого состояния к водонасыщенному;

- скорости упругих волн в грунтах при полном их водонасыщении (например, ниже уровня грунтовых вод) мало зависят от вида и состояния грунтов;

- скорости упругих волн уменьшаются с увеличением дефектов в структуре грунта в виде микро- и макротрещин усадочного и деформационного происхождения.

1.4. Сейсмическое обследование земляного полотна должно производиться специалистами - геофизиками или геологами, знакомыми с практикой ведения инженерной сейсморазведки малых глубин, применением специальной аппаратуры и программных комплексов.

1.5. Сейсмический метод диагностики используется:

- в комплексе с геологоразведочными работами для установления наиболее опасных зон в теле земляного полотна, для обоснованного и целенаправленного размещения буровых работ, что приводит к значительному уменьшению их объема;

- для получения информации о состоянии земляного полотна, которая характеризует определенный объем грунта (в отличие от буровой скважины) и может быть непрерывной по длине пути, уменьшая тем самым вероятность пропуска надежных участков;

- для ускорения обследования и усовершенствования общей методики оценки надежности земляного полотна;

- при периодических режимных наблюдениях за состоянием неустойчивых участков земляного полотна в процессе эксплуатации пути.

1.7. Сейсмический метод применяется как на стадии профилактических обследований земляного полотна, так и при детальном инженерно геологическом обследовании, необходимых для разработки проекта противодеформационных конструкций.

1.8. Особенности условий применения сейсмического метода на объектах железнодорожного земляного полотна (в отличие от общепринятых в инженерной геологии) являются:

- малые глубины исследования (от десятков сантиметров до 15- 20 м) и наибольшая мощность изучаемых слоев грунта;
- необходимость вести сейсмические работы при наличии рельсов, шпал, щебеночного материала балластной призмы, крутых откосов насыпей;
- сложные очертания границ между слоями грунтов в деформирующих насыпях в виде балластных лож, мешков, гнезд, а также шлейфов на откосах;
- наличие помех, связанных с переменными токами сигнализации и СЦБ, протекающих в рельсовых цепях, и высокочастотной рельсовой волны.

2. ЗАДАЧИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

2.1. Задачами сейсмического метода при диагностике эксплуатируемого земляного полотна являются:

- расчленение геологического разреза (определение числа и мощности слоев грунта, конфигурации границ);
- определение сейсмических параметров (значений скоростей продольных и поперечных волн) для выделенных слоев грунта:
- расчет физико-механических свойств грунтов по их сейсмическим параметрам;
- расчет устойчивости насыпи по значениям физико-механических свойств с учетом ее инженерно-геологического строения.

2.2. При диагностике насыпей с применением сейсмического метода решаются две основные задачи. Первая задача включает в себя изучение внутреннего строения насыпей, определение геометрии литологических границ, обнаружение и оконтуривание отдельных крупных неоднородностей. Вторая задача направлена на качественную и количественную оценку показателей свойств и состояния грунта насыпей.

2.3. При диагностике основной площадки:

- устанавливается толщина балластного слоя и наличие водонасыщенных зон;
- выявляются балластные ложа, корыта, грязевые мешки и гнезда.

2.4. При обследовании откосов и тела насыпи:

- определяется мощность и площадь распространения балластных шлейфов на откосах насыпей;
- разделяются грунты тела насыпи по литологическому составу и состоянию;
- выявляются ослабленные по прочности зоны грунта;
- обнаруживаются отдельные линзы обводненных грунтов и зоны капиллярного насыщения;
- при обследовании оснований насыпей: устанавливаются границы между грунтом насыпи и контрбанкета и коренными глинистыми или скальными породами;
- разделяются грунты основания по литологическому составу и состоянию;
- определяется глубина уровня грунтовых вод.

3. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОВЕДЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ НА ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ НАСЫПЯХ

3.1. Сейсмические измерения на эксплуатируемых насыпях проводятся по методу преломленных волн (МПБ) с изучением инженерно-геологического строения земляного полотна и его основания на глубину до 30-50 метров.

3.2. Перед началом полевых наблюдений сейсмическим методом необходимо провести вспомогательные работы:

- проведение инструктажа по технике безопасности при измерениях в условиях действующего пути;
- проверка состояния аппаратуры и оборудования и подготовку их к полевым работам;
- рекогносцировочный осмотр участка работ, выбор мест для разбивки профиля и установки сейсмической аппаратуры;
- разбивка профиля (отметка на местности начала косы сейсмоприемников и пунктов возбуждения колебаний).

3.3. Измерения выполняются по методике продольного профилирования с применением система нагоняющих и встречных наблюдений, что обеспечивается выносом ПВ за пределы расстановки. Упрощение системы наблюдений (уменьшение количества ПВ) возможно в простых инженерно-геологических условиях при исследовании одной-двух преломляющих границ.

3.4. Расчленение разрезов грунтов проводится при использовании как продольных, так и поперечных волн - это объясняется в первую очередь необходимостью получения значений физико-механических свойств грунтов насыпи и ее основания по сейсмическим параметрам (V_p и V_s).

3.5. Для проведения работ применяются следующие типы сейсмоприемников: вертикальные (СЗ) и горизонтальные (СГ). Сейсмоприемники устанавливаются вертикально на поверхности земли, поскольку их наклон уменьшает амплитуду регистрируемых сигналов. Сейсмоприемники горизонтального типа (СГ), кроме того, следует ориентировать чувствительным элементом поперек профиля измерений.

3.6. Работы производятся сначала на продольных волнах с расстановкой на всей «косо» (многожильного кабеля, к которому подключаются сейсмоприемники) сейсмоприемников СВ, а затем на поперечных волнах с применением сейсмоприемников СГ.

3.7. Расстояния между соседними сейсмоприемниками должны быть постоянными и наибольшими, при которых сохраняется возможность уверенной корреляции всех полезных волн, прослеживание которых необходимо в земляном полотне. Для работ на насыпях высотой до 12 метров расстояние между сейсмоприемниками выбирается равным 1 м, для работ на более высоких насыпях - 2 м, Отклонение сейсмоприемников от линии профиля и принятого расстояния между ними не должна превышать 1/10 этого расстояния (например, для принятого

оптимального шага между сейсмоприемниками, равного 2 м, отклонение должно быть не более 20 см).

3.8. При обследовании насыпей сейсмические профили располагаются в следующих точках поперечного сечения: на обочинах, посередине откосов и у основания насыпи (рис.1.). При детальном обследовании объем сейсмических работ определяется в каждом конкретном случае на месте а зависимости от характера, размеров, интенсивности развития деформаций, протяжения охваченного ими участка, общей инженерно-геологической обстановки и других факторов.

3.9. Основным средством возбуждения колебаний при работах на насыпях являются удары молотом (кувалдой) весом 5-10 кг по металлической подкладке, уложенной на грунт. Условия возбуждения должны выбираться совместно с условиями приема и обеспечивать получение четких записей полезных волн, изучение которых необходимо для решения поставленных геологических задач. К таким волнам относятся: прямая волна, распространяющаяся в первом от поверхности слое грунта; головные волны от слоев грунта выше УГВ: головная волна от уровня грунтовых вод (УГВ); головные волна от нижележащих слоев грунта.

3.10. Пункты возбуждения упругих колебаний (ПВ) следует устанавливать на расстояниях, кратных длине профиля, однако, если поверхностные условия не позволяют этого, допускаются отклонения, отклонение на 1-2 метра существенно не влияет на получаемый материал, при более значительных отступлениях от установленных методикой расстояний их следует заносить в полевой журнал.

3.11. В технологии работ с поперечными волнами имеются особенности, которые следует учитывать при проведении измерений:

3.12. Для возбуждения поперечных волн необходимо наносить удары молотом по вертикальной стенке специально подготовленной ямки в направлении, перпендикулярном линии профиля. Регистрация поперечных волн производится горизонтальными сейсмоприемниками.

3.13. При работе с поперечными волнами следует учитывать, что эти волны обладают более низкой частотой, по сравнению с продольными. Поэтому следует осуществлять фильтрацию колебаний с ограничением спектра со стороны высоких частот (ФНЧ).

3.14. В ходе выполнения полевых работ необходимо следить за качеством сейсмограмм (они должны иметь четко выраженные первые вступления волн от исследуемых слоев грунта). Повышение качества сейсмограмм достигается увеличением количества накоплений ударов на ПВ, обеспечением отсутствия помех на профиле (регистрацию при появлении поездов, автомобилей, людей, сильных порывах ветра не производить).

Пример построения геосейсмического разреза участка насыпи

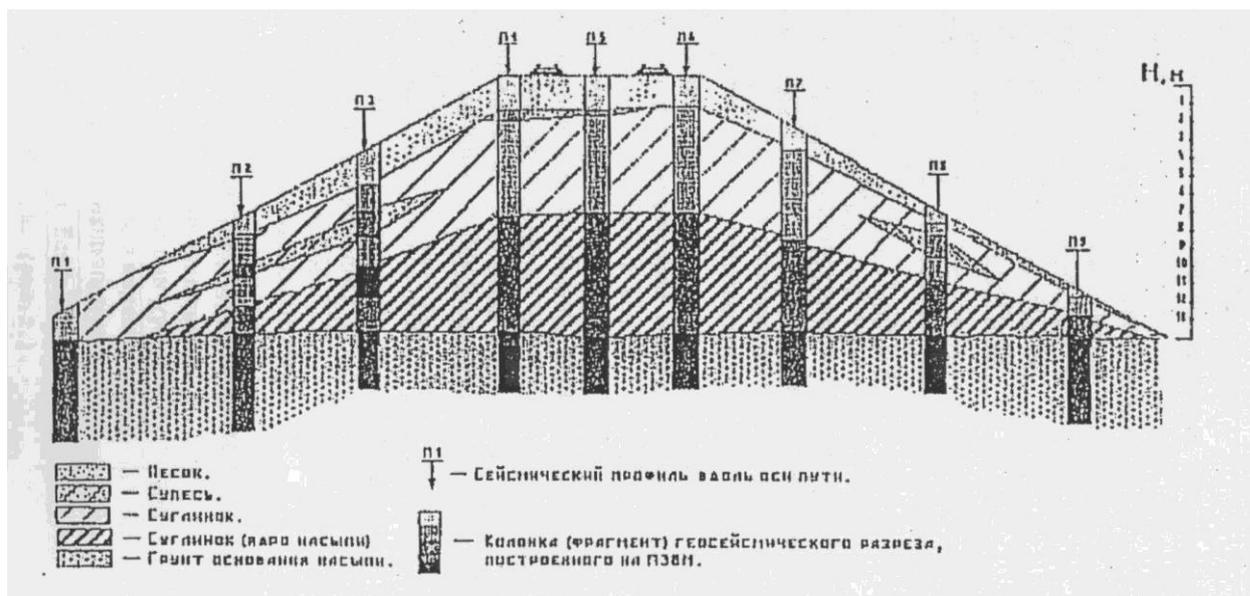


Рис. 1

3.15. Для облегчения оценки качества сейсмограмм в процессе измерений применяется режекторная фильтрация. Полоса пропускания фильтра выбирается исходя из частот полезных сигналов и помех. В большинстве случаев, частоты полезных сигналов находятся в пределах от 4 0 да 150 Гц для продольных, и от 20 да 80 Гц для поперечных волн, в то время, как частоты волн-помех наибольшей амплитуды находятся в пределах от 0 до 60 и от 120 до 500 Гц. Оптимальной полосой пропускания является интервал частот, соответствующий максимальной амплитуде полезных волн. Производить регистрацию следует при постоянной полосе пропускания или на открытом канале по всему профилю. В случае необходимости перехода на другую фильтрацию вследствие изменения сейсмогеологических условий или интенсивности и частот помех, необходимо на двух переходных участках профиля (две соседние расстановки сейсмоприемников) произвести записи как при ранее установленных, так и при новых параметрах фильтра. Это обеспечивает сопоставимость записей, полученных после смены фильтрации, и позволяет учитывать возникшие фазовые сдвиги первых вступлений полезных волн.

3.16. Привязка к железнодорожному пикетажу, номер профиля и ПВ, тип профилирования, количество накоплений, наличие помех, дата и время измерений, погодные условия и другая служебная информация должны заноситься в полевой журнал.

4. ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ

4.1. Определение времен первых вступлений упругих волн

4.1.1. Временем первого вступления упругой волны называется точка на сейсмограмме, в которой начинается колебание, вызванное приходом сейсмической волны (рис.2).

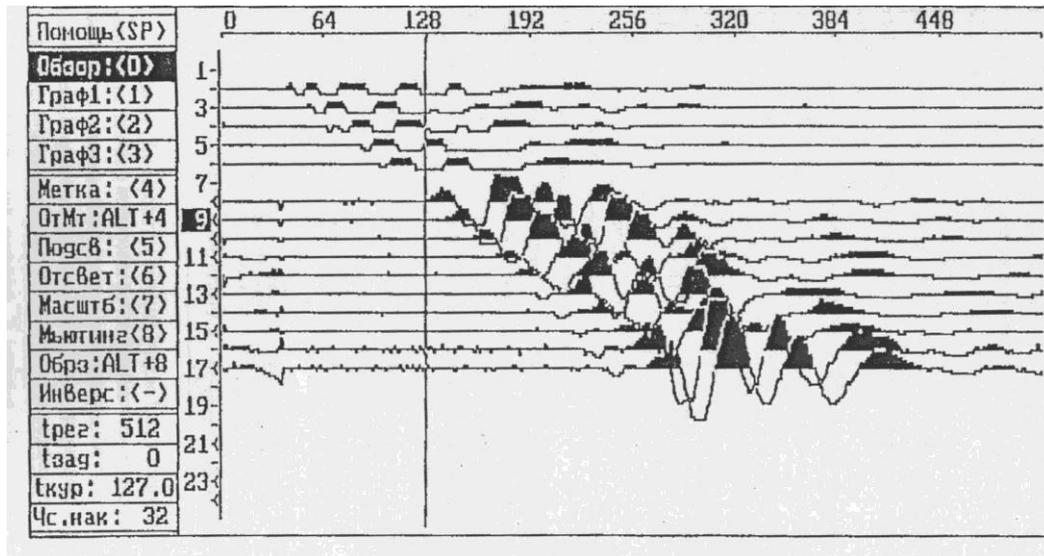


Рис. 2

4.1.2. Зависимость времени первых вступлений упругих волн от расстояния между каждым сейсмоприемником и пунктом возбуждения колебаний (ПВ) называется годографом (рис.3.). Годографы обычно представляются в виде графика.

Пример годографов продольных (U_p) и поперечных (U_s) сейсмических волн при обследовании участка земляного полотна представлены на рис. 3.

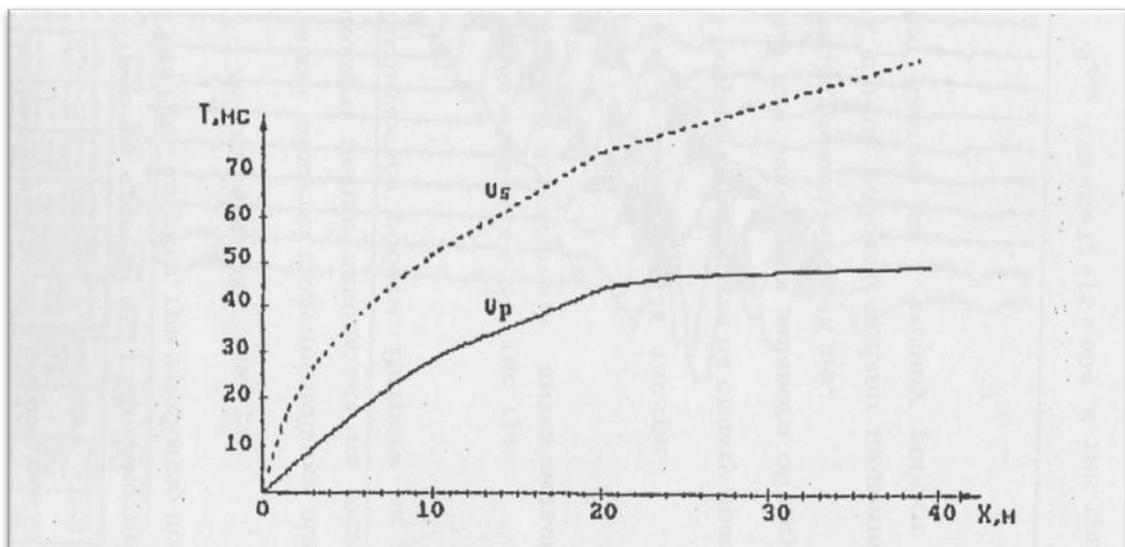


Рис 3

4.1.3. Перед снятием времен первых вступлений необходимо провести фазовую корреляции волн на сейсмограмме. Это осуществляется исходя из свойства прямолинейности или гладкой криволинейности в сторону увеличения скорости годографов преломленных волн: нарушающие прямолинейность или гладкость годографа фазы следует переворачивать (инвертировать) (рис.4 в сравнении с рис.2.). Если даже после инвертирования не удастся воссоздать прямолинейный или гладко - криволинейный годограф, берется значение, наиболее близкое к предыдущему.

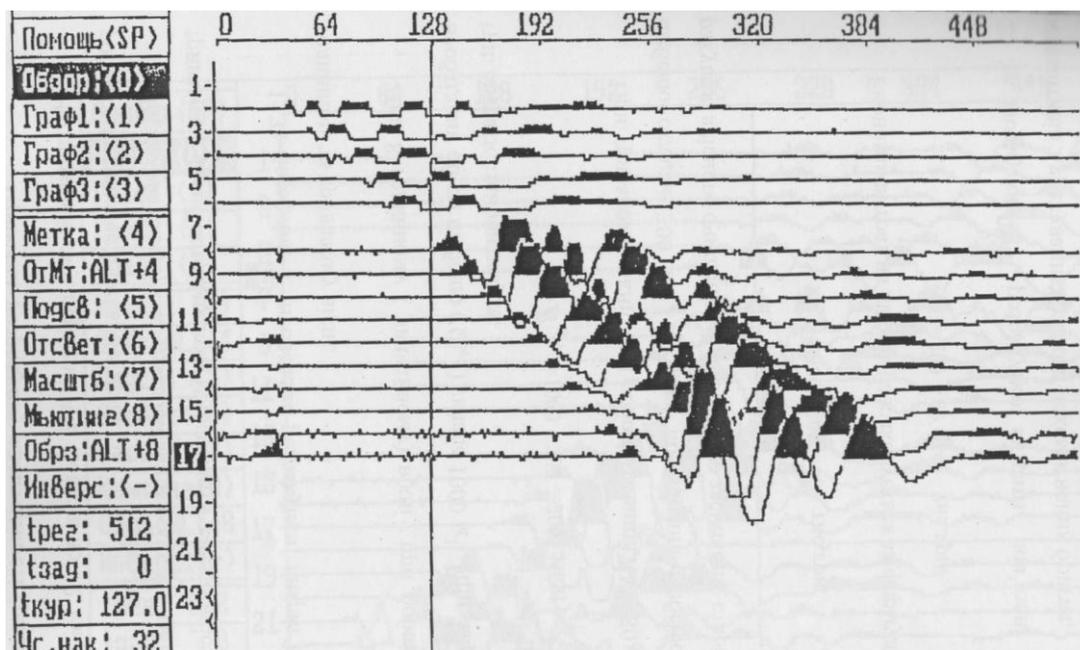


Рис. 4

4.1.4. Нормальным считается годограф, который на всем протяжении профиля представляет собой ломанную прямую линию с постоянным увеличением кажущейся скорости (рис.3.). Допускается наличие в первой (левой) части годографа дугообразной кривой в сторону увеличения скорости. Все другие формы годографа требуют внимательного рассмотрения и в большинстве случаев связаны с неправильной корреляцией волн, недостаточным усилением, пропуском полезной волны и другими ошибками измерений и обработки.

4.1.5. Для более удобной работы следует, после выявления всех полезных волн, уравнивать их амплитуды.

4.1.6. Первые вступления часто выражены неярко, поэтому допускается проводить корреляции волн и снимать времена их прихода по ярко выраженным фазам (максимумам или минимумам), но в этом случае необходимо сместить полученные времени таким образом, чтобы они отражали первые вступления (рис.5.)

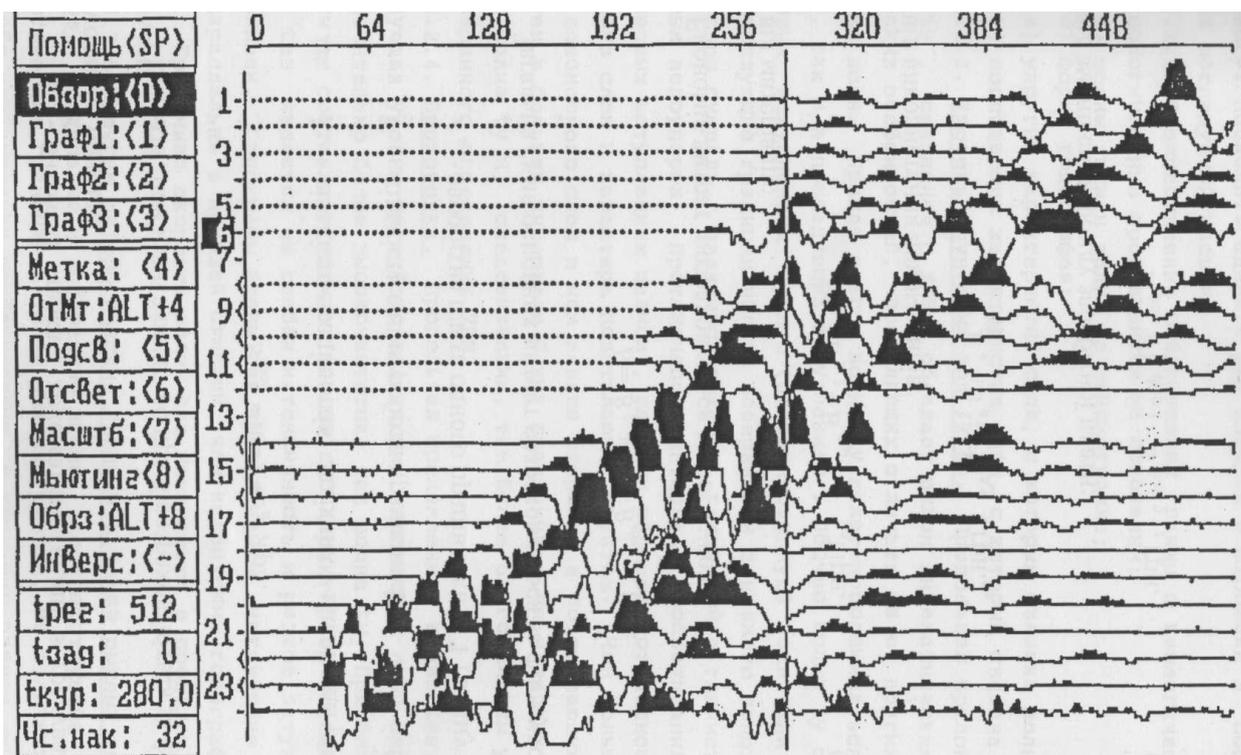


Рис 5

Значения первых вступлений должны сниматься с максимально высокой точностью (погрешность не более 0.5 мс).

4.1.6. Снятие времен первых вступлений производится с помощью специально разработанной программы.

4.1.7. Снятые значения времен первых вступлений упругих волн для построения геосейсмических разрезов вводятся в программу или выносятся на бумагу в масштабе, удобном для интерпретации.

4.2. Геологическая интерпретация сейсмических данных

4.2.1. Для уверенного истолкования сейсмических данных необходимо иметь общее представление о геологическом строении исследуемого объекта. Достоверность данных намного возрастает при наличии хотя бы одной опорной скважины, к которой привязывают сейсмические наблюдения. Тем не менее, даже одни сейсмические наблюдения могут позволить сделать ряд выводов о строении и состоянии грунтов обследуемой насыпи.

4.2.2. Отождествление сейсмических границ с геологическими и гидрогеологическими производится на основании:

- формы записи волны на сейсмограмме;
- формы годографов;
- упругих характеристик слоя, с которым связана волна;
- поглощающих характеристик слоя, с которым связана волна.

4.2.3. Уровень грунтовых вод (УГВ). Продольная преломленная волна t_y , связанная с УГВ, обладает рядом кинематических и динамических особенностей, позволяющих отличать ее от других сейсмических волн. Прежде всего, волна t_y может прослеживаться как в первых, так и в последующих вступлениях. Обычно

волна t_u сменяет в первых вступлениях прямую (рефрагированную) волну или волны, соответствующие границам вблизи поверхности земляного полотна и, в свою очередь, сменяется волной, связанной с глинистым или скальным водоупором. Протяженность интервала прослеживания волны t_u в первых вступлениях зависит, главным образом, от мощности водоносного слоя и характера, подстилающих грунтов. Чем больше мощность водоносного слоя и чем меньше скорость в подстилающих породах, тем в большем интервале будет прослеживаться в первых вступлениях волна t_u и, следовательно, тем более благоприятны условия для уверенного определения УГВ.

4.2.4. Верховодка. Продольная преломленная волна t_{vv} , соответствующая уровню неглубоко залегающих маломощных линз верховодки, значительно более высокочастотна, чем волна t_u . Преобладающие частоты ее составляют обычно 110-130 Гц. Характерной особенностью волны t_{vv} является ее слабая интенсивность и резкое затухание с расстоянием. Годографы волны t_{vv} - прямолинейны, нагоняющие годографы параллельны в меньшей степени, чем нагоняющие годографы волны t_u . Граничная скорость волны t_{vv} изменяется в пределах 1450 - 1600 м/сек.

4.2.5. Другие литологические границы в толще рыхлых насыпных грунтов. Продольные и поперечные волны, соответствующие другим литологическим границам в толще рыхлых грунтов, не отличаются какими-либо характерными особенностями, а характер записи этих волн или величина граничных скоростей не зависят в решающей степени от гранулометрического состава грунта.

4.2.6. Преломленные волны, соответствующие литологическим границам, обычно можно легко выделять на записи. Особенно это относится к продольным волнам. Необходимо обращать повышенное внимание на динамические особенности регистрируемых волн. Отождествление выделенных границ со слоями разного литологического состава производится по отношению скоростей поперечных и продольных волн для данного слоя V_s/V_p .

4.2.7. Литологические границы в толще рыхлых грунтов ниже зеркала грунтовых вод. Продольные преломленные волны, связанные с литологическими границами в зоне водонасыщения, обычно не удается четко разделить на записи. Это связано с тем, что водонасыщенная толща рыхлых пород очень слабо дифференцирована по скоростям продольных волн и что целому ряду границ ниже УГВ на записи обычно соответствует одна интерференционная волна.

4.2.8. Литологические границы ниже УГВ легко можно выделить с помощью поперечных волн. Таким образом, по сейсмическим данным представляется возможным с большей степенью вероятности расшифровывать характер выделенных сейсмических границ.

4.2.9. Для успешной интерпретации требуется выделение в разрезе возможно большего числа границ с оценкой состава грунтовых слоев по обе стороны границы. Кроме того, обычно требуется оценить обводненность выделяемых слоев, т.е. определить положение уровня грунтовых вод (включая верховодку).

Интерпретация осложняется значительными изменениями скоростей упругих волн с глубиной, что особенно проявляется в верхних слоях разреза.

4.2.10. Основными факторами, влияющими на точность определения глубин залегания преломляющих границ, являются ошибки в отсчете времен вступления и в определении величины V в покрывающей толще по точке пересечения годографов. До глубины 30 м и при видимой частоте сейсмической волны порядка 100 Гц ошибка в отсчете времени вступления и соответствующая ей абсолютная ошибка в глубине до преломляющей границы мало изменяется с глубиной залегания границы. Как показывает опыт, при глубинах до преломляющих границ 7-12 м ошибка в определении глубины составляет 5-7 % , при глубинах от 2 до 7 м и от 12 до 20 метров она близка к 10 %.

5. ТЕХНОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ ГЕОСЕЙСМИЧЕСКИХ РАЗРЕЗОВ НАСЫПЕЙ

5.1. Построение разрезов насыпей с помощью ПЭВМ производится сведением фрагментов участков сейсмических профилей обработанных с применением соответствующего программного комплекса.

5.2. На поперечный (или продольный) профиль насыпи, построенный по данным геодезических намерений, необходимо нанести точки привязки сейсмических профилей, расположенных в пределах основной площадки, откосов и основания насыпи.

5.3. В каждую точку, где проводились сейсмические наблюдения, прикладывается фрагмент построенного на ПЭВМ геосейсмического разреза. Затем производится соединение (корреляция) границ сейсмических слоев, выделенных одинаковым цветом или изолиниями одинаковых значений скоростей упругих волн (рис.6, см. рис.1).

Пример построения геосейсмического разреза участка насыпи (по профилям, расположенным вдоль откоса и по междупутью)

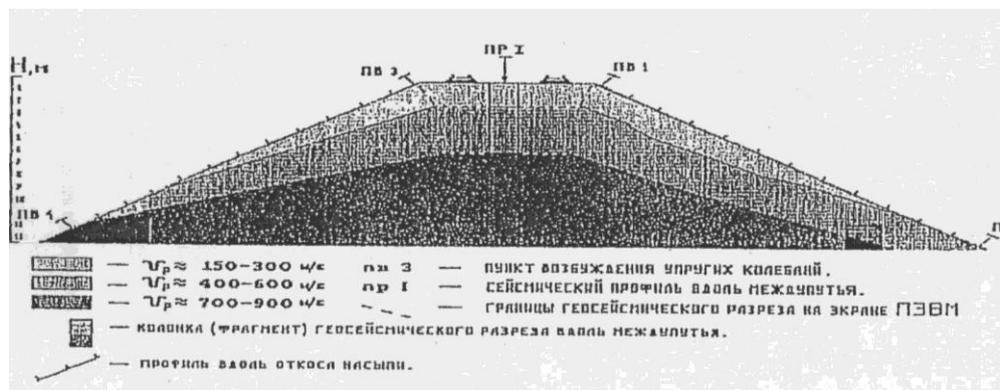
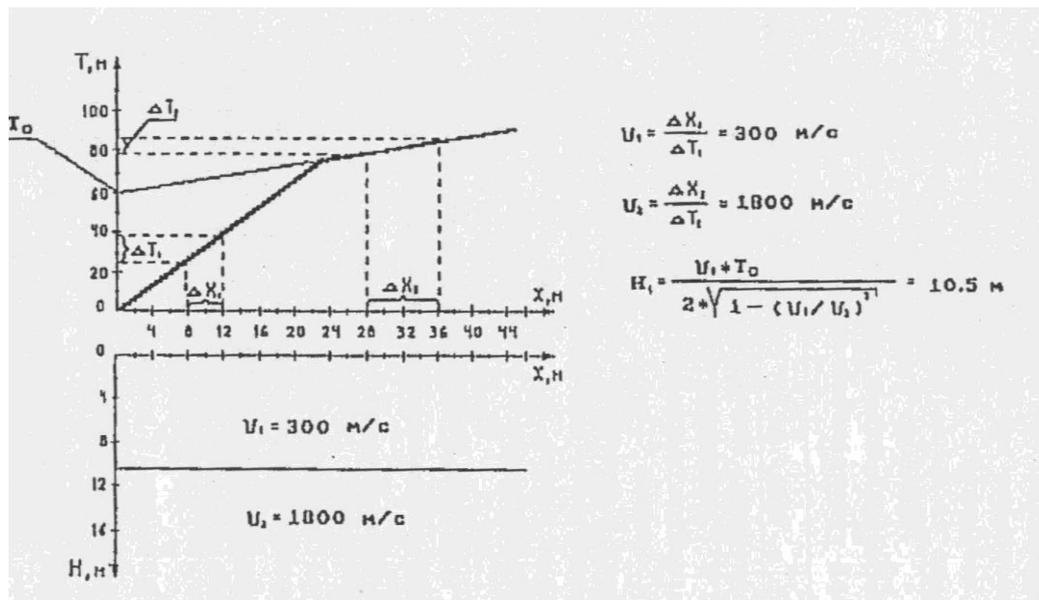


Рис. 6

5.4. Для проведения интерпретации необходимо проанализировать все встречные и нагоняющие годографы, полученные над каждой расстановкой "косы" сейсмоприемников (сейсмическим профилем). Если скорости на встречных годографах для одних и тех же слоев грунта совпадают, то расчет глубин по преломлению границ осуществляется по одиночным годографам, распространяя полученные значения глубин на весь профиль.

5.5. Расчет глубин до преломленных границ и значений скоростей упругих волн в выделенных слоях грунта производится по одиночным годографам. Пример расчета глубины до первой преломляющей границы по одиночному годографу (рис.7.).



$V_{сл}$ - скорость, определяемая по годографу преломленной $V_{ср}$ - "средняя" скорость, определяемая по прямой, соединяющей точку выхода преломленной волны от слоя, до кровли которого рассчитывается глубина, из-за предшествующей преломленной волны от предыдущего слоя, и точку начала координат (для второго слоя эта скорость равна скорости прямой волны в первом слое грунта); волны от слоя, до кровли которого рассчитывается глубина;

T_0 - время (координата на вертикальной оси), которое определяется по точке пересечения вертикальной оси координат с прямой, являющейся продолжением годографа преломленной волны от слоя, до кровли которого рассчитывается глубина.

Для ускорения расчета при большой разности в скоростях $V_{ср}$ и $V_{сл}$ ($V_{сл}/V_{ср} > 0.5$) допустимо использовать для расчета упрощенную формулу: $H = V_{ср} \cdot T_0 / 2$.

5.6. При незначительных различиях в скоростях для одних и тех же слоев на встречных годографах (в пределах 10 %) допускается интерпретация по одиночным годографам. В этом случае полученные для встречных годографов значения глубин и скоростей усредняются.

5.7. Случаи значительного различия в скоростях для одних и тех же слоев или в форме встречных годографов соответствуют резкому изменению свойств

грунтов или формы преломленных границ и интерпретируются неоднозначно, поэтому требуют обязательного заложения проверочных буровых скважин.

5.8. Полученные в результате построения сводные разрезы земляного полотна (продольные и поперечные), несут в себе информацию о геосейсмическом строении обследуемых участков. Наибольшее значение имеют поперечные разрезы, по которым, после расчета физико-механических свойств грунтов, производится оценка устойчивости насыпи.

6. ПОЛУЧЕНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ И РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ НАСЫПЕЙ

6.1. Расчет основных физико-механических характеристик грунтов.

6.1.1. Отождествление сейсмических границ с границами грунтов следует производить по сопоставлению с геологическими данными, а при отсутствии их - по форме записи волны на сейсмограмме и исходя из известных закономерностей распределения плотности в земляном полотне. Границы выше уровня грунтовых вод следует выделять на основе регистрации как продольных, так и поперечных волн. Тип грунта в этих условиях можно определить по величине отношения согласно таблице 1.

Таблица 1

Тип грунта	Отношение V_s/V_p
Галечники	0.60 - 0.68
Пески	0.55 - 0.68
Супеси	0.50 - 0.62
Суглинки	0.30 - 0.55
Глины	0.14 - 0.35

Расчет физико-механических характеристик грунтов (сцепления, углов внутреннего трения и плотности) производится по корреляционным зависимостям. Для упрощения расчета используется программа "Property"

6.1.2. Полученные расчетным путем значения свойств грунта могут использоваться для оценки устойчивости насыпи только после их проверки данными контрольного бурения (не менее одной контрольно-параметрической скважины на каждые 50 метров профиля).

6.1.3. Основными показателями физико-механических свойств грунтов земляного полотна, для оценки которых может использоваться сейсмический метод, являются следующие: плотность сухого грунта (ρ_d), плотность грунта (ρ), влажность (весовая - W), нижний предел пластичности (влажность на границе пластичности - W_p), верхний предел пластичности (влажность на границе текучести - W_L), число пластичности (I_p), показатель консистенции (I_L), пористость (n), коэффициент пористости (e), динамический модуль деформации (E_d), динамический модуль сдвига (μ), модуль общей деформации ($E_{деф}$), постоянная сцепления (C), угол внутреннего трения (φ).

6.1.4. Корреляционные уравнения связи, выбранные для использования при обследовании земляного полотна и используемые в программе "Property", справедливы при следующих размерностях входящих в них параметров [3,4,5]:

плотность сухого грунта.....	г/см.куб
плотность грунта.	г/см.куб
влажность	% весовые
нижний предел пластичности	% влажности
верхний предел пластичности.....	% влажности
число пластичности.....	% влажности
показатель консистенции.....	безразмерный
пористость.....	% объема
коэффициент пористости.....	безразмерный
угол внутреннего трения	градусы

6.1.5. Корреляционные уравнения связи, использованные в программе, справедливы для песчаных и глинистых грунтов при следующих условиях:

- если грунт глинистый, то крупнообломочных включений (частиц более 2 мм) должно быть не более 5 %;
- включений органического вещества не более 5 %;
- грунт не должен быть лессовым или лессовидным;
- грунт должен залегать выше уровня грунтовых вод (УГЗ);
- должны выполняться граничные условия, индивидуальные для каждого уравнения.

6.1.6. При расчете по представленным корреляционным уравнениям связи можно пользоваться обобщенными граничными условиями для связных (глинистых) грунтов:

$$1.4 \leq \rho_d \leq 2.1$$

$$1.6 \leq \rho \leq 2.3$$

$$9 \leq W \leq 30$$

$$5 \leq I_p \leq 18$$

$$17 \leq W_L \leq 37$$

$$7 \leq E_{деф} \leq 30$$

$$0.025 \leq c \leq 0.075$$

$$230 \leq V_p \leq 1400$$

$$110 \leq V_s \leq 320$$

для сыпучих (песчаных) грунтов:

$$1.5 \leq \rho \leq 1.8$$

$$2 \leq W \leq 12$$

$$80 \leq V_p \leq 420$$

$$65 \leq V_s \leq 220$$

Нарушение граничных условий приводит к потере точности расчета, причем тем большей, чем значительнее нарушение - вплоть до абсолютной неправильности результата. Однако незначительный выход за указанные пределы (до 30 % от величины граничного значения) влияет на точность результатов расчета линейно с коэффициентом $1/2$, что позволяет учитывать возрастание погрешности по формуле:

$$\Delta = \Omega / 2$$

где: Δ - возрастание погрешности, %

Ω - выход за пределы корректности, %

Если нарушение пределов корректности по какому-либо параметру значительно, т.е. более 30 % то этот параметр оценивается качественно.

6.1.7. Используемые корреляционные уравнения связи составлены для насыпных грунтов. При применении этих уравнений для оценки физико-механических свойств грунтов, находящихся в естественном залегании, значения определяемых параметров могут быть несколько завышены или занижены (в пределах 10 - 15 % от истинных).

6.2. Расчет устойчивости насыпей по сейсмическим данным.

6.2.1. Для расчета устойчивости необходимы следующие данные:

- поперечные профили насыпи и основания (по результатам геодезических работ);
- поперечные геологические разрезы насыпи и основания (по сейсмическим данным и проверочному бурению);
- глубина залегания уровня полного водонасыщения (по сейсмическим данным и проверочному бурению);
- значения физико-механических свойств грунтов для каждого из выделенных слоев (по сейсмическим данным и результатам контрольного определения проб грунтов).

Расчет устойчивости насыпей от глубокого и местного сдвига по сейсмическим данным выполняется с использованием специальных программных комплексов.

6.2.3. Результаты расчета устойчивости эксплуатируемых насыпей по сейсмическим данным являются диагностическими, т.е. показывающими состояние насыпи (неустойчивая, предельное состояние, устойчивая). Допускается

применение этих результатов для грубой оценки объема восстановительных работ, однако, для проектирования противодеформационных мероприятий необходимо проведение полного детального инженерно-геологического обследования с отбором необходимого количества проб грунтов.