

УДК 622.83

UDC 622.83

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ ПРИ ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ МЕТОДАМИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

DETERMINATION OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF SOIL IN THE ASSESSMENT OF HYDRAULIC STRUCTURES BY METHODS OF NONDESTRUCTIVE TESTING

Пригара Андрей Михайлович
к.т.н.

Prigara Andrey Mikhailovich
Cand.Tech.Sci.

Татаркин Алексей Викторович
к.т.н.

Tatarkin Aleksey Viktorovich
Cand.Tech.Sci.

Пенский Олег Геннадьевич
д.т.н., профессор

Pensky Oleg Gennadievich
Dr.Sci.Tech., professor

Осовецкий Борис Михайлович
д.г.-м.н., профессор
Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, РФ

Osovetsky Boris Mikhailovich
Dr.Sci.Geol.-Min., professor
Perm state national research university, Natural Science Institute, Perm, Russia

Коноплев Александр Владимирович
к.т.н., доцент
Пермский государственный национальный исследовательский университет, Естественнонаучный институт, Пермь, РФ

Konoplev Aleksandr Vladimirovich
Cand.Tech.Sci., associate professor
Perm state national research university, Natural Science Institute, Perm, Russia

В статье рассматривается разработанная технология проведения сейсморазведочных работ для уточнения геологического строения и определения физико-механических свойств грунтов в рамках методики оперативного неразрушающего контроля устойчивости и прогноза физического состояния гидротехнических сооружений

In this article we have considered a seismic survey technology to refine the geological structure and the determination of physical and mechanical properties of soils in the operational methods of nondestructive testing and prediction of physical stability of hydraulic structures (dams)

Ключевые слова: МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ, ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ, ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Keywords: METHODS OF NONDESTRUCTIVE TESTING, HYDRAULIC STRUCTURES, PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES

Целью работы являлось разработка технологии проведения сейсморазведочных работ для уточнения геологического строения и определения физико-механических свойств грунтов в рамках методики оперативного неразрушающего контроля устойчивости и прогноза физического состояния гидротехнических сооружений (ГТС). В ходе разработки методики неразрушающего контроля, помимо сейсморазведки, были опробованы возможности следующих видов геофизических работ: вертикального электрического зондирования, метода естественного поля,

георадиолокационного зондирования. В результате методика включила в себя целый комплекс взаимодополняющих друг друга геофизических методов. Актуальность поставленной цели и пути ее достижения раскрыты в работе [1], посвященной разработке методики оперативного неразрушающего контроля в целом. Для достижения цели работы перед авторами были поставлены следующие задачи:

- выяснение особенностей применения методов инженерной сейсморазведки для изучения структурных особенностей и определения физико-механических свойств (ФМС) грунтов на основе литературных источников, на основе моделирования с предварительным составлением обобщенных сейсмогеологических моделей ГТС, а так же по результатам выполнения опытных работ;

- разработка технологии применения инженерной сейсморазведки для изучения структурных особенностей ГТС, определения физических свойств и ФМС грунтов, слагающих ГТС;

- опробование разработанной технологии на практике.

Изучение особенностей применения сейсморазведки в целях инженерных изысканий показало следующее. Согласно литературным источникам [6, 2, 4] и собственному опыту авторов, в практике инженерной сейсморазведки используется два полевых метода сейсморазведки – метод преломленных (МПВ) и метод отраженных волн (МОВ) в модификации общей глубинной точки (ОГТ). У обоих методов есть свои недостатки и преимущества, определяющие, какой из методов лучше применять в конкретной ситуации. Для наглядности эти достоинства и недостатки сведены в табл. 1.

Если судить формально, то, согласно таблице 1, МОВ ОГТ обладает значительным преимуществом перед МПВ. Однако, по опыту известно, что как МПВ, так и МОВ в условиях инженерных изысканий сталкиваются с серьезными трудностями. Поэтому, в целях оценки потенциальной

информативности сейсморазведочных методов, авторами построены типовые сейсмогеологические модели (СГМ) ГТС, выполнено моделирование (решение прямой задачи), и проведены опытные полевые сейсморазведочные работы обоими методами.

Таблица 1. Преимущества и недостатки методов МОВ и МПВ

| Особенность\Метод | МПВ | МОВ ОГТ |
|---|--|--|
| Относительная интенсивность целевых волн на фоне волн-помех | Высокая интенсивность | Низкая интенсивность |
| Интерференция целевых волн и волн-помех | Интерференция практически отсутствует | Присутствует интерференция отраженных и высокоинтенсивных поверхностных волн |
| Явление «выпадения слоя» | Присутствует, учитывается с помощью априорной информации | Отсутствует |
| Детальность расчленения разреза | Невысокая | Высокая |
| Развитие методик и программ обработки и интерпретации | Слабое | Сильное |
| Наглядность представления результатов | Наглядность невысокая | Результаты очень наглядны |
| Полевая система наблюдений | Отсутствие компактности | Компактная система |
| Сравнительное качество регистрации продольных и поперечных волн | Качество практически одинаковое для обоих типов волн | Качество сильно варьирует в зависимости от поверхностных условий |

Типовое строение плотин в большинстве случаев можно представить в виде четырех-пятислойной физико-геологической модели. Формирование СГМ ГТС было выполнено на основе известных корреляционных зависимостей между литологическим составом и упругими свойствами пород.

Для решения прямой задачи сейсморазведки была использована программа моделирования упругих волновых полей FModel [3], позволяющая осуществлять расчет и анализ волнового поля по заданной СГМ среды. Результаты решения прямой задачи для пятислойной модели

плотины приведены на рис. 1, 2. Аналогичные расчеты сделаны для четырехслойной и пятислойной моделей дамб.

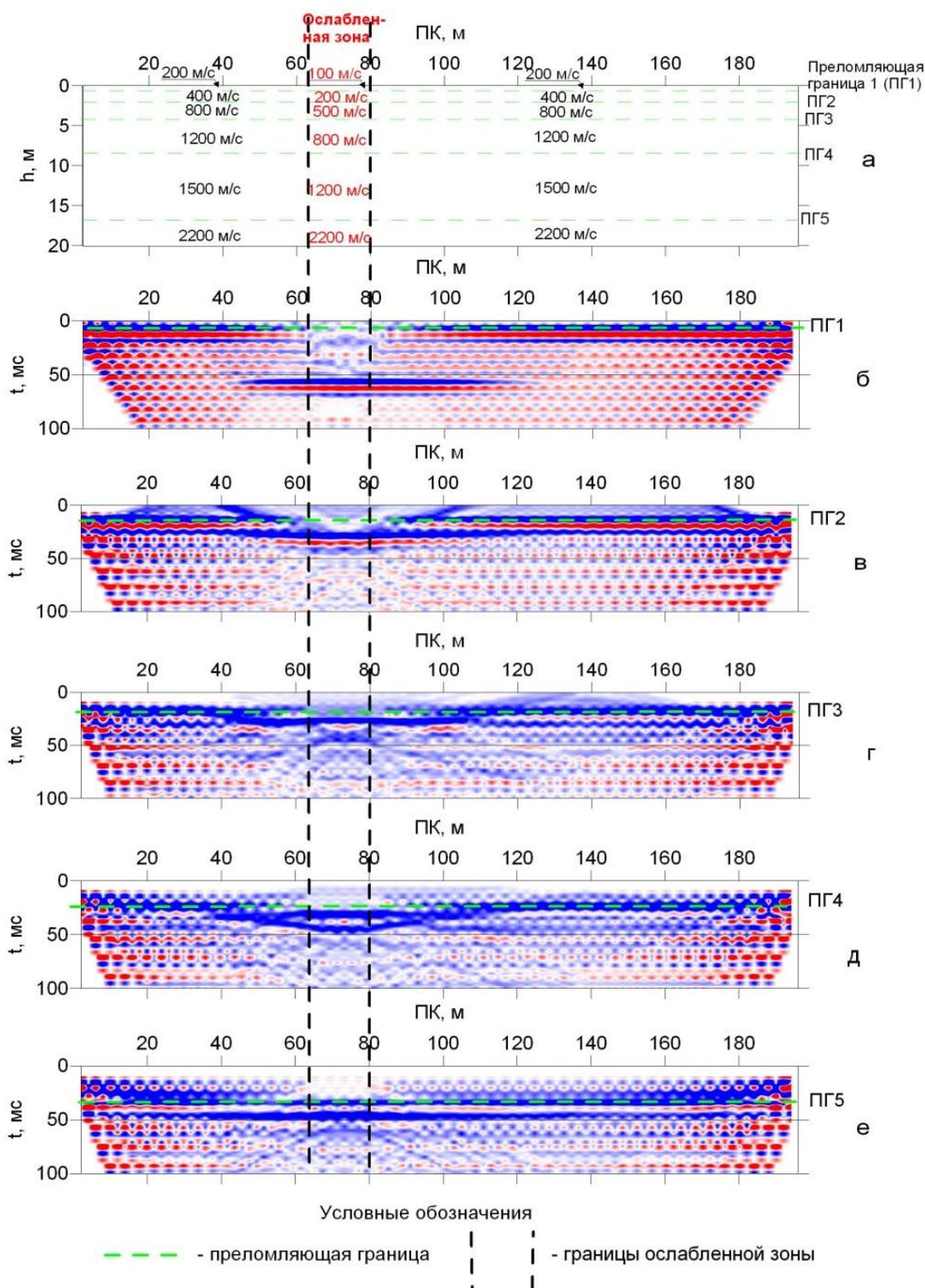


Рис. 1. Результаты численного моделирования сейсмического волнового поля для типовой пятислойной физико-геологической модели плотины (а), б - е – разрезы общей глубинной площадки (ОГП) для преломляющих границ 1-5

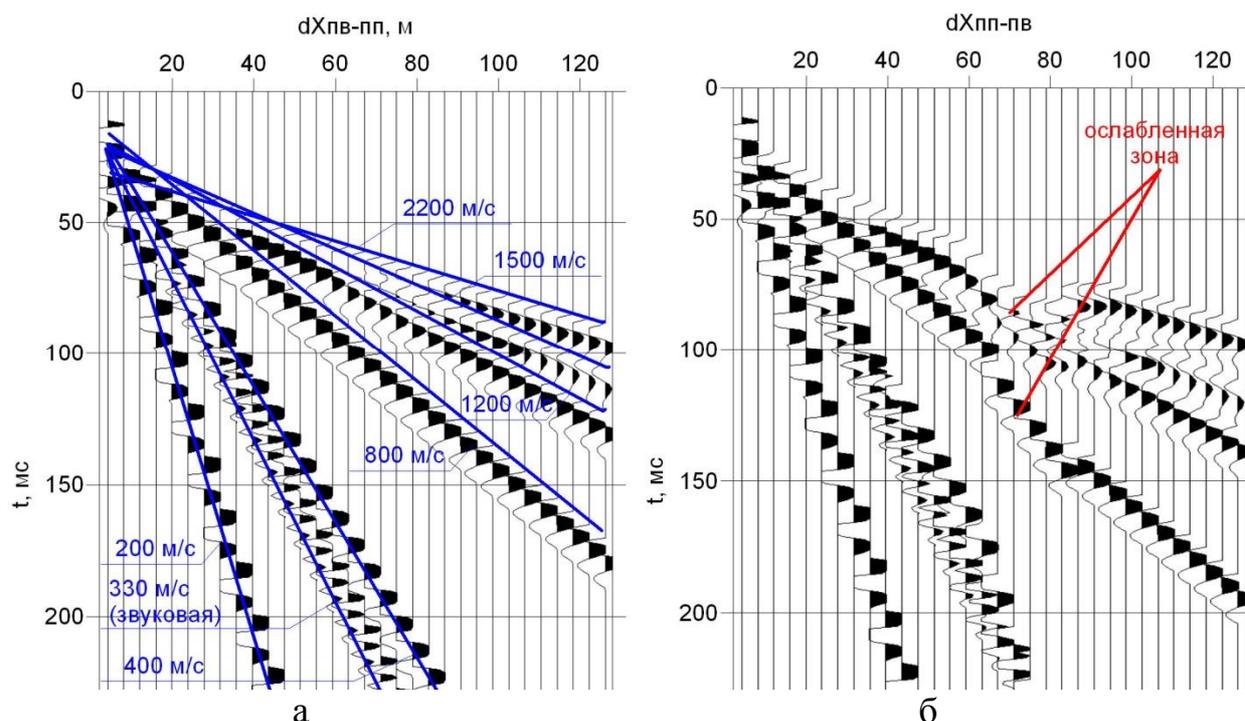


Рис. 2. Результаты численного моделирования для типовой пятислойной физико-геологической модели плотины (рис. 1, а): а - сейсмограмма общего пункта возбуждения для модели без ослабленной зоны, б – то же, с ослабленной зоной.

Результаты моделирования указывают, с одной стороны, на высокую информативность сейсморазведочных методов, с другой стороны – на имеющиеся проблемы при обработке и интерпретации. В частности, МПВ, даже при положительном градиенте скоростей с глубиной, сталкивается с проблемой выделения преломляющих границ по первым вступлениям (рис. 2. а). В данном случае требуется использовать методики, позволяющие выделять преломленные волны в последующих вступлениях, в том числе методику общей глубинной площадки (ОГП) (рис. 1, б – е).

Опытные работы выполнены обоими методами с различными системами наблюдения. Основой для проектирования систем наблюдения служила максимальная глубина изучения разреза – 15 -20 м и априорная геологическая информация о строении ГТС, требующих обследования. Параметры систем наблюдения МПВ – шаг пунктов возбуждения (ПВ) = 4-16 м, шаг пунктов приема (ПП) = 1-2 м, максимальное удаление ПП от ПВ

– 64-128 м, шаг дискретизации – 0.2 – 0.5 мс, длина записи – 512 – 1024 мс, в открытом канале.

Параметры систем наблюдения МОВ ОГТ – шаг пунктов возбуждения (ПВ) = 1-2 м, шаг пунктов приема (ПП) = 1 м, максимальное удаление ПП от ПВ – 32-64 м, шаг дискретизации – 0.2 – 0.5 мс, длина записи – 512 – 1024 мс, в открытом канале.

Для регистрации во всех случаях использована 64-канальная телеметрическая цифровая сейсмостанция IS-128 (ООО «Интромаг», г. Пермь) в комплекте с вертикальными и горизонтальными сейсмоприемниками GS-20DX (ООО «Ойо-Геоимпульс», г. Уфа).

Для обработки, интерпретации и визуализации сейморазведочных данных используется программа RadExpro Plus Total 3.7, которая позволяет осуществить внутри одной системы весь процесс обработки и интерпретации данных методов отраженных и преломленных волн: чтение и визуализацию сейсмограмм, амплитудную коррекцию, двумерную и полосовую фильтрации, учет рельефа, корреляцию и увязку годографов преломленных волн, определение скоростей продольных и поперечных волн, построение модели среды.

Согласно результатам опытных работ однозначного ответа на вопрос о выборе того или иного метода нет. Основная причина – высокая интенсивность поверхностных волн, область регистрации которых перекрывается с областью регистрации отраженных волн (рис. 3), делая в ряде случаев невозможным использование отраженных волн.

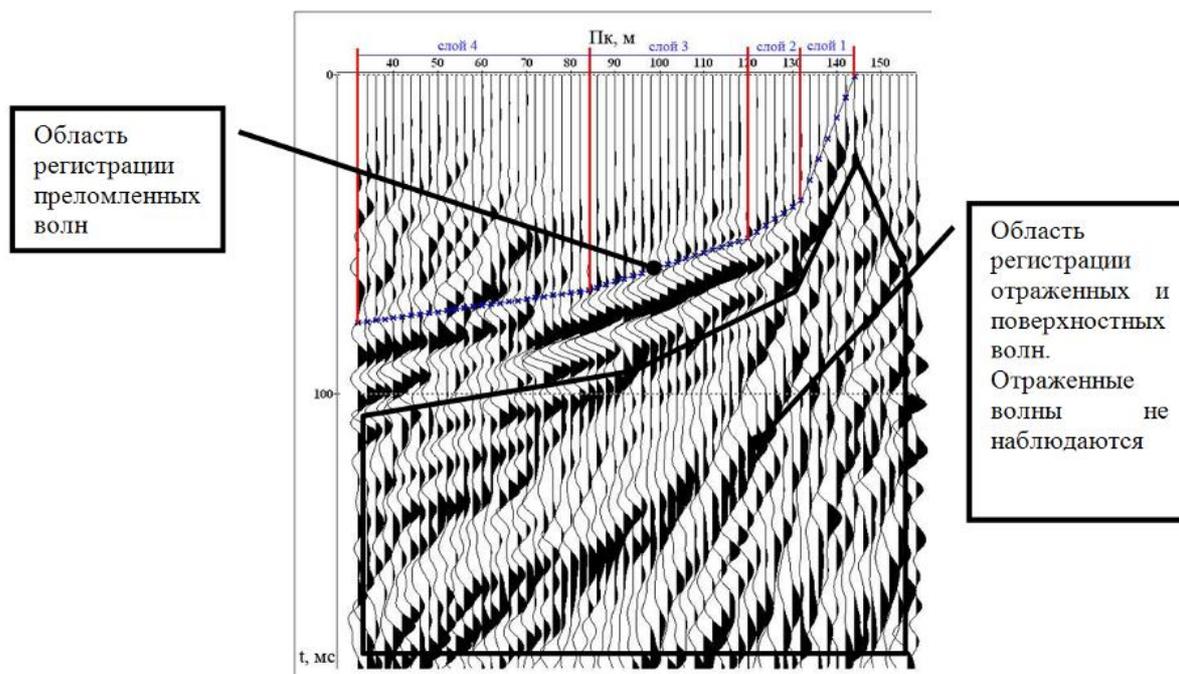


Рис. 3. Типичная сейсмограмма общего пункта взрыва, полученная для интервала инженерно-геологических глубин при изучении ГТС в Пермском крае

В результате анализа полученных результатов сделаны выводы о применимости методов в различных условиях, выводы сведены в табл. 2.

Отказ от метода отраженных волн в условиях грунтового покрытия даже при наличии параметрического обеспечения объясняется высокой интенсивностью поверхностных волн. Отказ от метода преломленных волн в случае твердого покрытия объясняется отсутствием преломленных волн от неглубоких границ вследствие «выпадения слоя», что приводит к значительным ошибкам в структурных построениях и определении скоростей.

Таким образом, можно сделать вывод, что для целей структурных построений и определения скоростных характеристик геологического разреза при изучении ГТС возможно использование любого из двух методов, за исключением случая с грунтовой (или рыхлой) поверхностью и отсутствием параметрического обеспечения.

Таблица 2. Выбор метода в зависимости от условий

| Поверхностные условия | Параметрическое обеспечение | Предпочтительный метод | Примечания |
|---|-----------------------------|--|--|
| Грунтовая поверхность | Имеется | МПВ | Уверенная регистрация продольных и поперечных волн в МПВ |
| То же | Отсутствует | Применение сейсморазведки не рекомендуется, либо рекомендуется перенос полевых работ на зимний период (см. ниже) | Уверенная регистрация продольных и поперечных волн в МПВ, однако возможны ошибки из-за «выпадения слоя» |
| Твердое покрытие (асфальт, бетон, промерзший грунт) | Имеется | МОВ ОГТ МПВ | Затруднена регистрация продольных волн в МОВ. В МПВ особое внимание должно быть уделено привязке данных по глубине, однако изучение самых верхних слоев невозможно |
| То же | Отсутствует | МОВ ОГТ | Затруднена регистрация продольных волн в МОВ |

В случае, если используется МОВ, то необходимо применение методики высокоразрешающей сейсморазведки на поперечных волнах (ВСПВ) [7], поскольку при использовании поперечных волн в случае инженерных глубин не регистрируется сильных поверхностных волн, что позволяет получать качественные записи отраженных волн, которые четко выделяются даже на полевых записях (рис. 4).

Для целей же определения ФМС грунтов напрямую, с использованием зависимостей из теории упругости [5, 4] подходит лишь один случай – грунтовая поверхность, при наличии параметрического обеспечения (материалов микросейсмокаротажа (МСК), вертикального сейсмического профилирования (ВСП), или акустического каротажа (АК)), или, в крайнем случае, хотя бы априорной геологической информации. Использование же перспективного с точки зрения технологии полевых

работ и камеральной обработки метода отраженных волн для определения ФМС возможно только после проведения дополнительных исследований.

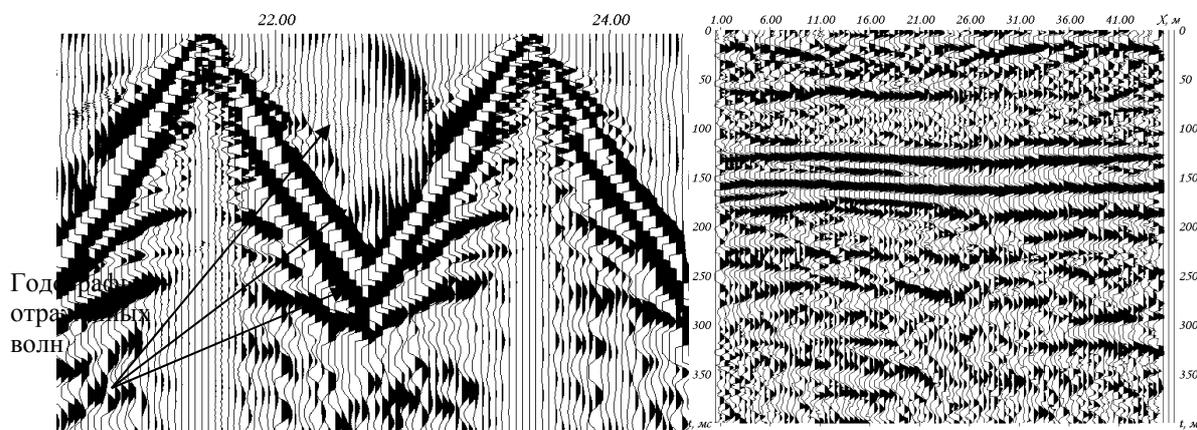


Рис.4. а – полевые сейсмограммы общего пункта взрыва без обработки, получены по методике ВСПВ, б – окончательный временной разрез

Параметры систем наблюдения при изучении ГТС по результатам моделирования и выполнения опытных работ рекомендуется выбирать следующими (для максимальной глубины исследования 15-20 м):

-для МПВ: максимальная длина расстановки $L = (6-8) \cdot h_{\text{макс}}$, где $h_{\text{макс}}$ – максимальная глубина изучения разреза, максимальны й боковой вынос = $L/2$, шаг пунктов возбуждения = 4 м, шаг пунктов приема – 1 м, шаг дискретизации – 0.5 мс, длина записи – 512 - 1024 мс (уточняется по результатам опытных работ);

-для МОВ ОГТ: $L = 2 \cdot h_{\text{макс}}$, система наблюдений - центральная, шаг пунктов возбуждения = 1-2 м, шаг пунктов приема – 1 м, шаг дискретизации – 0.2 - 0.5 мс, длина записи – 256-512 мс (уточняется по результатам опытных работ). Источником колебаний в обоих случаях служит кувалда весом 3-4 кг. При регистрации поперечных волн рекомендуется использовать систему наблюдений Y-Y, с вычитанием разнонаправленных записей, полученных при горизонтальных ударах, нанесенных вкрест расстановке [7]. Удары при этом наносятся в

специальную наклонную плиту, надежно закрепленную в грунте с помощью грунтозацепов или в предварительно вырытом углублении.

Методики обработки данных МПВ и МОВ ОГТ в рамках изучения ГТС используются стандартные [2, 5], главное требование к ним – в результате должны быть получены интервальные или послойные скорости продольных (P) и поперечных (S) волн. На основе данных о скоростях P и S волн вычисляют следующие ФМС грунтов: отношение скоростей распространения продольных и поперечных волн V_p/V_s ; модуль упругости (Юнга) E; модуль сдвига G; коэффициент Пуассона (коэффициент поперечной деформации) μ ; модуль всестороннего сжатия K.

Для автоматизации пересчета скоростей упругих волн в ФМС была подготовлена расчетная таблица на базе приложения Microsoft Excel. В дальнейшем, с учетом полученного опыта, планируется создать более удобный инструмент для выполнения расчетов ФМС на базе одной из сред программирования.

В качестве примера на рис. 4 приведены геосейсмические (глубинные) разрезы, совмещенные с разрезами ФМС грунтов, полученные для одного из ГТС Пермского края. Для более детального анализа характера изменения ФМС внутри геосейсмических слоев построены послойные графики их изменения (рис. 5).

Всего приведенная здесь технология опробована на более чем десяти ГТС Пермского края. Получаемые при этом результаты, согласно проектной и исполнительной документации, а так же согласно результатам параметрического бурения, дают объективную информацию о состоянии ГТС – о структурных особенностях строения сооружения, состоянии и степени изменчивости физических и физико-механических свойств грунтов.

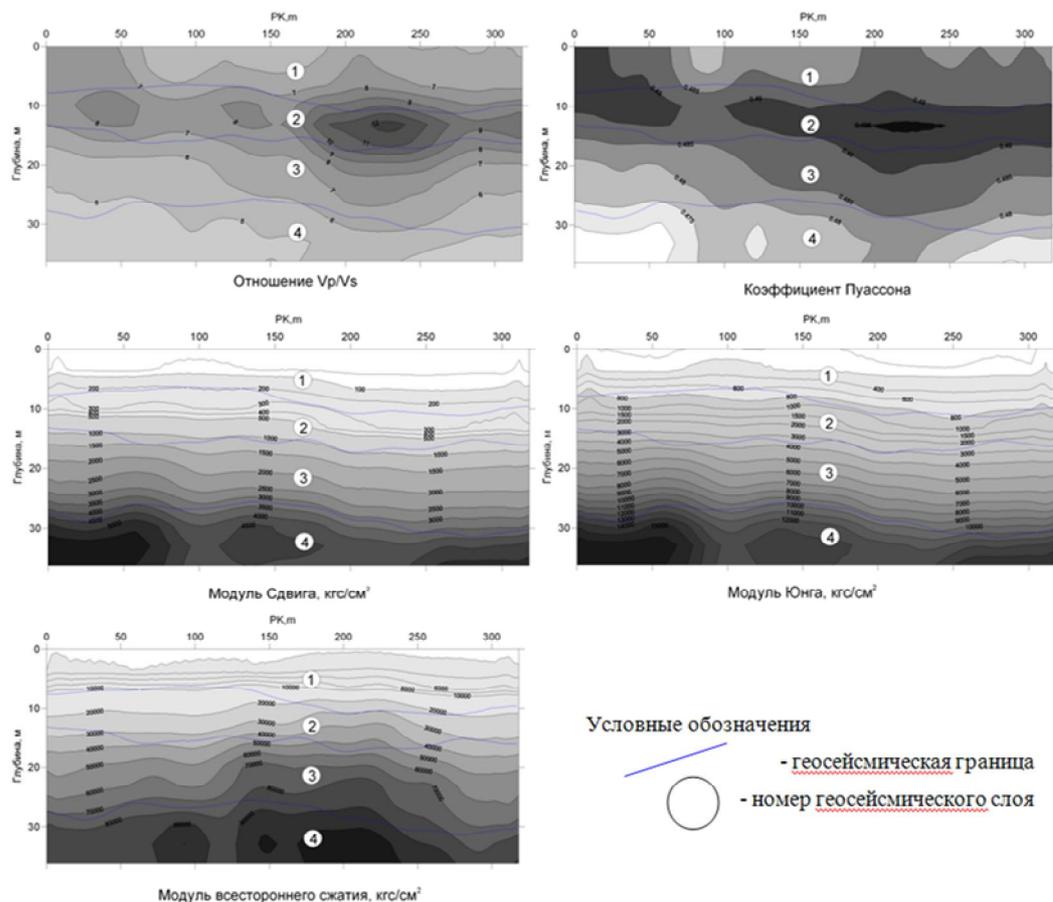


Рис. 4. Геосейсмические разрезы, совмещенные с разрезами физико-механических свойств

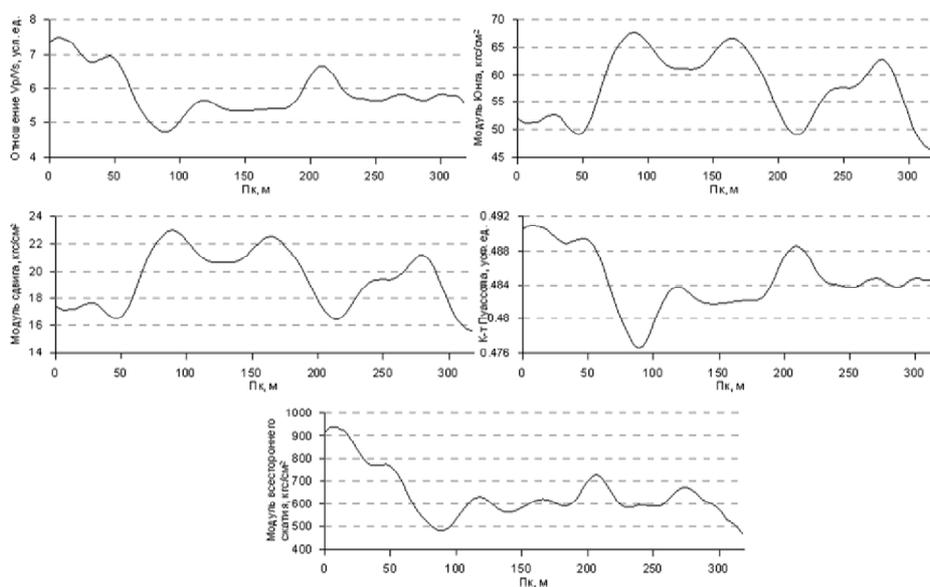


Рис. 5. Графики изменения физико-механических свойств грунтов в пределах геосейсмического слоя 1

Выводы.

В ходе выполнения исследований, описываемых в данной статье, решены следующие задачи:

1. Изучены особенности проведения инженерных сейсморазведочных работ для целей выполнения структурных построений и определения ФМС грунтов.
2. Построены типовые СГМ ГТС, для полученных моделей выполнено решение прямой задачи сейсморазведки – получены теоретические волновые поля, позволяющие судить об информативности сейсморазведочных методов при изучении ГТС.
3. Выполнены опытные работы с различными системами наблюдений. Выбраны оптимальные системы наблюдений, проверена применимость конкретного геофизического оборудования и программного обеспечения. Автоматизированы расчеты ФМС.
4. Разработанная технология опробована на практике на целом ряде ГТС Пермского края. Получаемые результаты, согласно проектной и исполнительной документации, а так же согласно результатам параметрического бурения, позволяют объективно судить о состоянии изучаемого сооружения, физических и физико-механических свойствах слагающих его грунтов и степени их изменчивости по вертикали и по горизонтали.

Разработанная технология проведения сейсморазведочных работ для уточнения геологического строения и определения физико-механических свойств грунтов в рамках методики оперативного неразрушающего контроля устойчивости и прогноза физического состояния гидротехнических сооружений одобрена научно-техническим советом Министерства природных ресурсов Пермского края и в настоящее время широко используется.

Литература

1. Колесников В.П., Татаркин А.В., Пригара А.М., Коноплев А.В. Диагностика состояния земляных плотин методами неразрушающего контроля // Геология и полезные ископаемые Западного Урала: материалы регион. науч.-практ. конф. Перм. ун-т. – Пермь, 2009. С. 257-262.
2. Никитин В.Н. Основы инженерной сейсмологии. – М., Изд-во МГУ, 1981. – 176 с.
3. Пригара А.М. Программно-алгоритмическое обеспечение решения прямых задач малоглубинной сейсморазведки // Геофизические методы поисков и разведки месторождений нефти и газа. - Межвузовский сборник научных трудов. - Пермь, 1999.
4. Применение сейсмоакустических методов в гидрогеологии и инженерной геологии. Мин-во геол. СССР; Всесоюз. науч.-исслед. ин-т гидрогеол. и инж. геол.; Под ред. Н.Н. Горяинова.-М.: Недра, 1992. – 264 с.
5. Рекомендации по применению сейсмической разведки для изучения физико-механических свойств рыхлых грунтов в естественном залегании для строительных целей. – М, Госстрой РСФСР, РосГлавНИИСтройпроект, Производственное объединение «Стройизыскания», 1974 г.
6. Санфиоров И.А. Рудничные задачи сейсморазведки МОГТ Екатеринбург УрО РАН, 1996. – 168 с.
7. Скворцов А.Г. Высокоразрешающая сейсморазведка на поперечных волнах – эффективный инструмент организации и ведения геофизического мониторинга в условиях инверсных сейсмогеокриологических и сейсмогеологических разрезов // Мониторинг криосферы. Тезисы докладов Международной конференции. – Пущино, 1999. – С.193.