

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА MASW С ТРАДИЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ

А.А. Ясницкий, А.А. Колодий, В.Н. Шабарин – ООО «ИнжГеоСервис», г. Туапсе

Введение

Сейсморазведка верхней части разреза – один из основных методов инженерной геофизики. Успех и признание комплекса сейсмических методов исследований обусловлены тем, что они оказались весьма эффективными при решении многих задач, имеющих важное значение как при инженерно-геологическом картировании, так и при проведении изысканий для целей строительства. Наряду с традиционно используемыми в инженерных изысканиях методами сейсморазведки (КМПВ, МОВ ОГТ, сейсмотомография), всё большую популярность приобретает метод многоканального анализа поверхностных волн (MASW), который уже долгое время с успехом применяется на западе [1, 2, 3].

Целью настоящей работы является сравнительная оценка эффективности применения метода MASW с традиционными методами сейсморазведки для целей инженерных изысканий.

Основные задачи исследований:

- опробование методики проведения полевых работ методом MASW;
- выполнение сейсморазведочных работ КМПВ на том же профиле;
- камеральная обработка полученных материалов, а также их интерпретация;
- анализ и сравнение полученных результатов.

Указанные задачи решаются в условиях верхней части разреза, характеризующейся невыдержанностью границ раздела, неоднородностью и анизотропностью свойств горных пород. Полевые сейсморазведочные работы выполнены на северо-западной окраине г. Туапсе, в районе ул. Кириченко. В геоморфологическом отношении участок работ относится к средней части склона северо-восточной экспозиции. Поверхность склона неровная, бугристая, прорезанная многочисленными эрозионными промоинами. В геологическом строении площадки принимают участие коренные породы палеогенового возраста (переслаивающиеся песчаники и аргиллиты), в кровле затронутые процессами выветривания, перекрытые чехлом техногенных отложений (насыпные грунты), современными оползневыми отложениями (глина полутвердая) и древними оползневыми накоплениями (дресвяные грунты с суглинистым заполнителем). Гидрогеологические условия участка изысканий характеризуются наличием одного водоносного горизонта, представляющего собой воды порово-пластового типа. Уровень подземных вод изменяется от 0,3 до 13,0 м с уклоном в сторону ручья.

Методика производства работ

Геофизические работы выполнялись по методике многоканального анализа поверхностных волн (MASW) [1, 3]. Кроме того, с целью проверки результатов, на том же участке проведена сейсмическая разведка КМПВ [4].

Сейсморазведочные работы с поверхности выполнялись по методике многоканального анализа поверхностных волн. Положение линии профиля определялось на месте в соответствии с поверхностными условиями и занятостью территории. Измерения выполнялись с помощью цифровой телеметрической 48-канальной сейсмической станции «ТЕЛСС-3» (ООО «ГЕОСИГНАЛ»). Управление станцией, анализ полученной информации и её дальнейшее сохранение осуществлялись с помощью переносного компьютера Notebook. Сейсмограммы записывались на жесткий диск компьютера в формате SEG-Y длиной 1024 мс при дискретности 1 мс. Возбуждение сейсмических волн осуществлялось кувалдой массой 10 кг. Выделение полезного сейсмического сигнала на фоне помех проводилось в режиме накопления воздействий. Сбор данных от каждых 4-х каналов, входящих в состав сейсмической косы, осуществляется с помощью полевого телеметрического модуля. Полевой модуль обеспечивает усиление, измерение и регистрацию сейсмического сигнала заданной длительности при заданном времени дискретизации и коэффициенте усиления предварительного усилителя.

При поверхностном возбуждении упругих колебаний более 2/3 части энергии уходит на образование

низкоскоростных поверхностных волн Рэлея. В случае вертикального градиента скоростей каждая частотная компонента поверхностной волны распространяется со своей фазовой скоростью, т.е. скорость поверхностной волны является функцией частоты колебаний. Глубина, на которую распространяются колебания поверхностной волны, пропорциональна длине волны (или обратно пропорциональна частоте). Указанная особенность лежит в основе метода многоканального анализа поверхностных волн [2, 3].

Зависимость фазовой скорости от частоты для данной среды называется дисперсионной кривой. Форма дисперсионной кривой отображает изменение жесткости с глубиной. Наиболее распространенный способ использовать описанное свойство дисперсии – построение профилей поперечных скоростей с помощью многоканального анализа поверхностных волн. Для построения профиля поперечных скоростей необходимо сначала зарегистрировать поверхностные волны, сгенерированные различными источниками, например кувалдой.

При регистрации поверхностных волн применялась система наблюдений ZZ, соответствующая вертикальному удару с вертикально ориентированными сейсмоприемниками типа геофон GS-20DX-2B. Сейсмоприемники располагались равномерно по профилю с шагом 2 м. Сбор полевых данных выполнялся с использованием методики «профилирования» (рис. 1). Применялась фланговая система наблюдений с выносом 10 м. При этом после завершения наблюдений на данной точке, расстановка из 24 каналов и пункт возбуждения переносились на 4 м, и так до конца профиля (аналогично методике выполнения работ ОГТ). Точка записи при реализации такой системы наблюдений относится к центру расстановки (аналогично методу ВЭЗ).

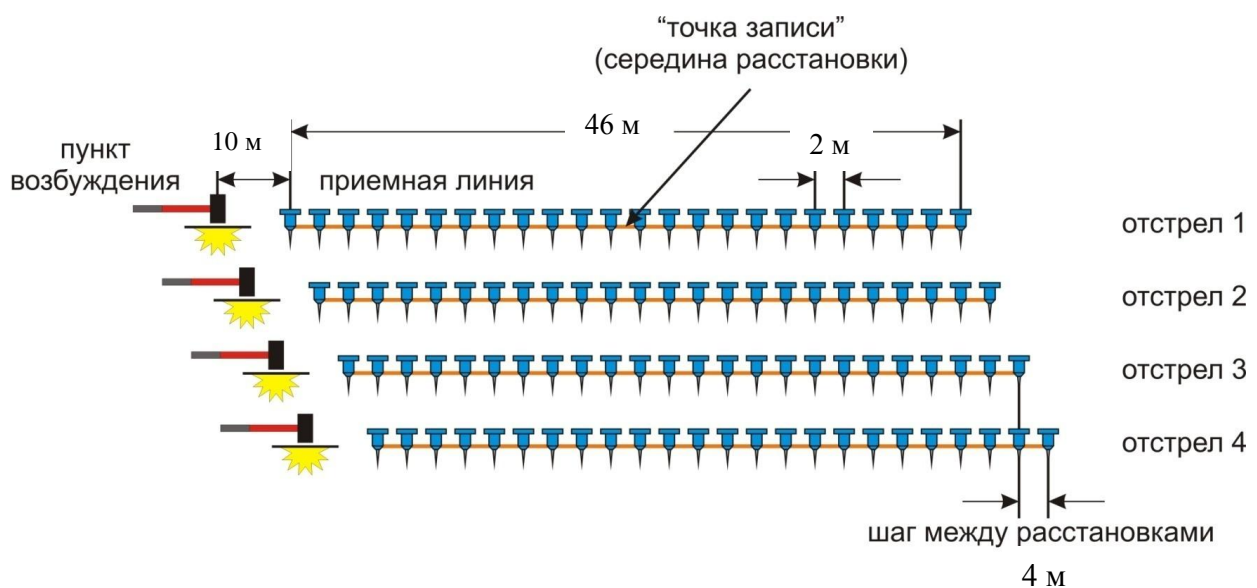


Рисунок 1. Методика наблюдений в методе MASW [5]

Кроме того, с целью сравнения полученных результатов, на исследуемом участке, на том же профиле выполнены и работы КМПВ. Регистрация выполнялась с использованием тех же оборудования и аппаратуры, что и при выполнении работ MASW. Отличия состоят только в методике наблюдений.

При регистрации продольных и поперечных волн применялись системы наблюдений ZZ и YY, соответствующие вертикальному удару с вертикально ориентированными сейсмоприемниками типа геофон GS-20DX-2B и горизонтальному удару, перпендикулярному направлению профиля с ориентированными в том же направлении сейсмоприемниками GS-20DXSUPER. Сейсмоприемники располагались равномерно по профилю с шагом 2 м. Длина сейсмического профиля была 76 м (39 каналов). Для надежного распознавания поперечных волн способом фазовой инверсии возбуждение поперечных волн производилось поочередно в противоположных направлениях, перпендикулярно линии расстановки. С целью получения непрерывных сводных годографов, а также надёжного определения точек преломления годографов, использовались нагоняющие удары в пунктах выносов до 30 м.

Методика обработки и интерпретации материалов

Первичная обработка материалов (суммирование сейсмограмм) проведена с помощью программы «ТЕЛСС-3» версии 1.00, входящей в комплект поставки сеймостанции. Дальнейшая обработка и интерпретация материала выполнялась в пакете RadExPro Plus 2011.3 Basic (ООО "Деко-геофизика СК"). В процессе обработки были осуществлены чтение и визуализация полученных сейсмограмм, присваивание геометрии. Затем в специальном модуле «MASW*» выполняется дисперсионный анализ – построение дисперсионных изображений. На каждую полученную сейсмограмму рассчитывают дисперсионное изображение. Типичный вид такого изображения представлен на рис. 2.

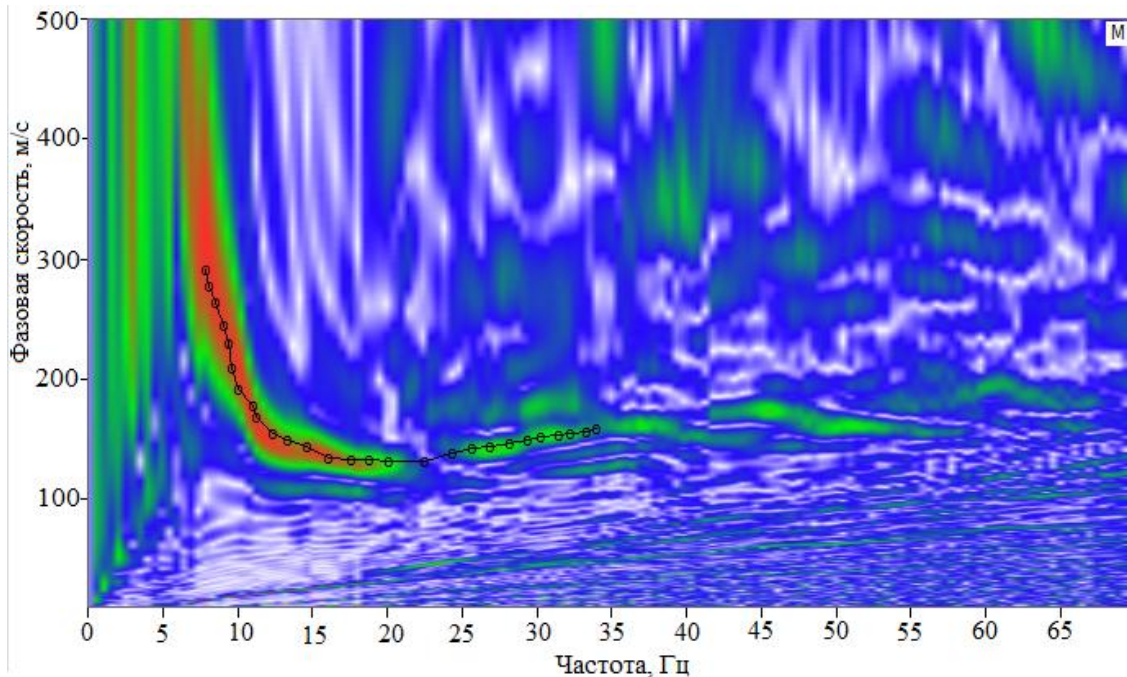


Рисунок 2. Дисперсионное изображение и процикированная по максимумам амплитуд кривая

Далее в автоматическом режиме выполняется инверсия – нахождение профиля поперечных скоростей, теоретическая дисперсионная кривая которого максимально приближена к измеренной кривой. Двумерный профиль скоростей поперечных волн строится интерполяцией между полученными вертикальными профилями. Сформированный профиль поперечных скоростей представлен на рис. 3.

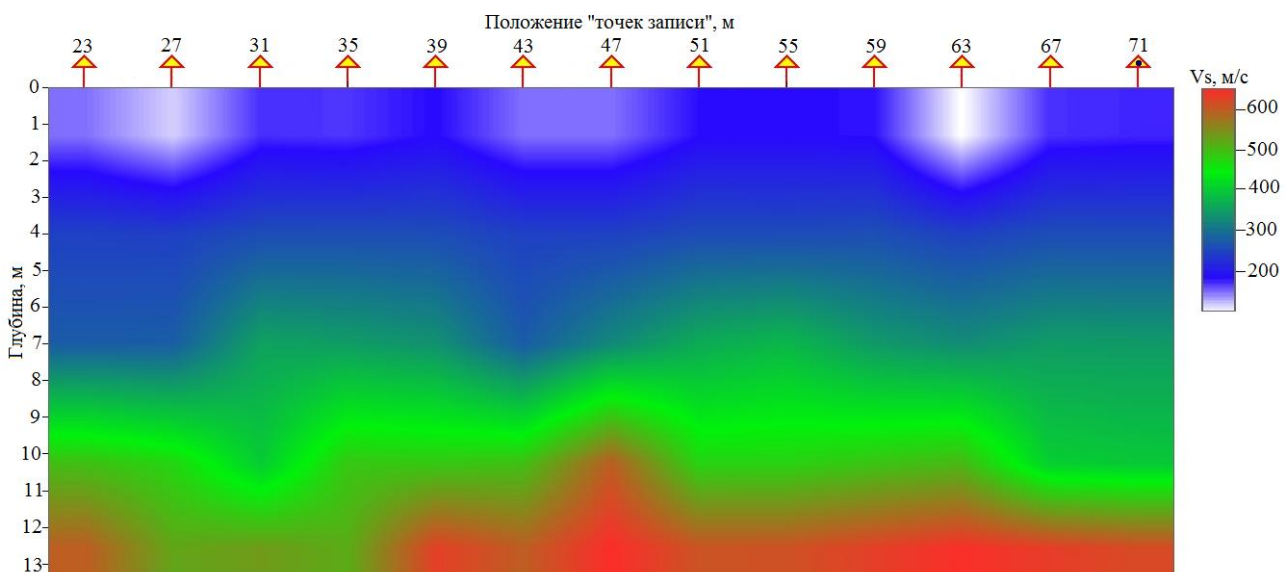


Рисунок 3. Профиль поперечных скоростей, построенный по методу MASW

Как видно из представленного рисунка, геологический разрез в пределах площади изысканий характеризуется положительным градиентом скоростей поперечных волн. Опираясь на материалы прошлых инженерно-геологических изысканий, и анализируя полученный профиль скоростей, можно сделать следующую литологическую интерпретацию:

- с поверхности до глубин 2-3 м залегает насыпной разнородный грунт ($V_S=140-200$ м/с);
- глина полутвердая, тяжелая располагается ниже вплоть до глубин 8-9 м ($V_S=200-350$ м/с);
- дресвяный грунт с суглинистым твердым заполнителем залегает под слоем глин и характеризуется $V_S=400-600$ м/с.

Первичная обработка материалов КМПВ (суммирование сейсмограмм) проведена также с помощью программы «ТЕЛСС-3» версии 1.00, входящей в комплект поставки сейсмостанции. В процессе интерпретации построены годографы продольных и поперечных прямых и преломленных волн, определены скорости (V_P и V_S) распространения на границах преломления и глубины залегания промежуточных сейсмических границ (Н). В интервале наблюдений, на которых получены встречные годографы преломленных волн, были построены сводные, разностные годографы и годографы t_0 , вычислены эхо-глубины до преломляющих границ, значения граничных скоростей и по засечкам построены непрерывные преломляющие границы. Дальнейшая работа с полученными результатами заключается в аппроксимации преломляющих границ геологическими границами и составлении сейсмогеологических разрезов. Граничные скорости отождествляются с пластовыми скоростями продольных и поперечных волн. На рис. 4 графически представлен построенный геосейсмический разрез.

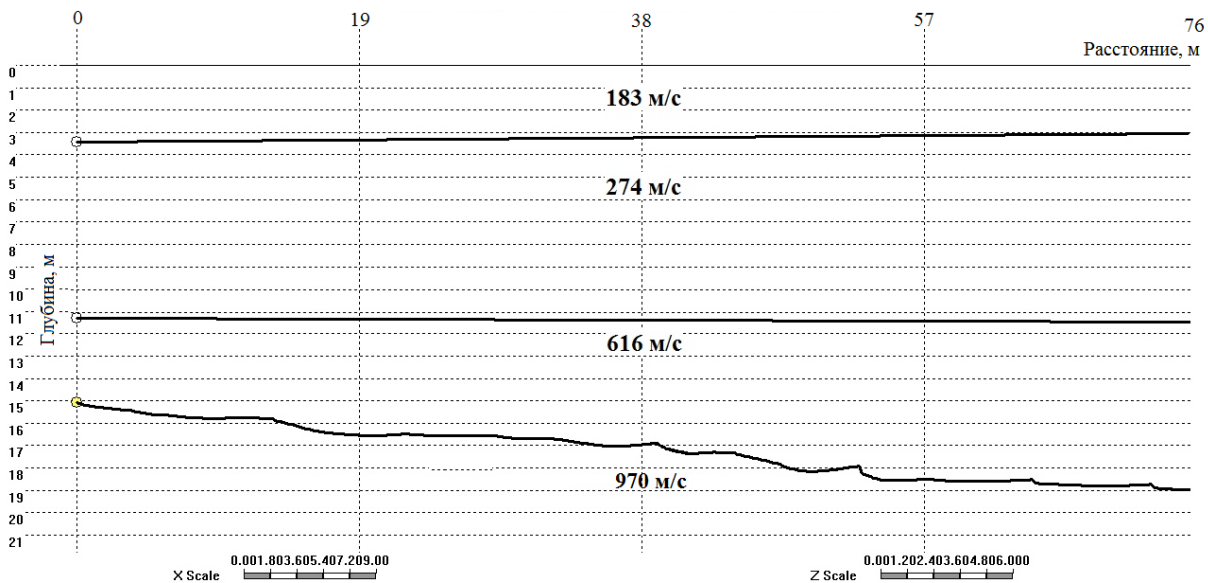


Рисунок 4. Сейсмический разрез КМПВ по поперечным волнам

Кроме того, полевые материалы сейсмозазведки КМПВ были обработаны и в программном комплексе «Godograf» (Пийп В.Б., МГУ). Результат этой обработки представлен на рис. 5.

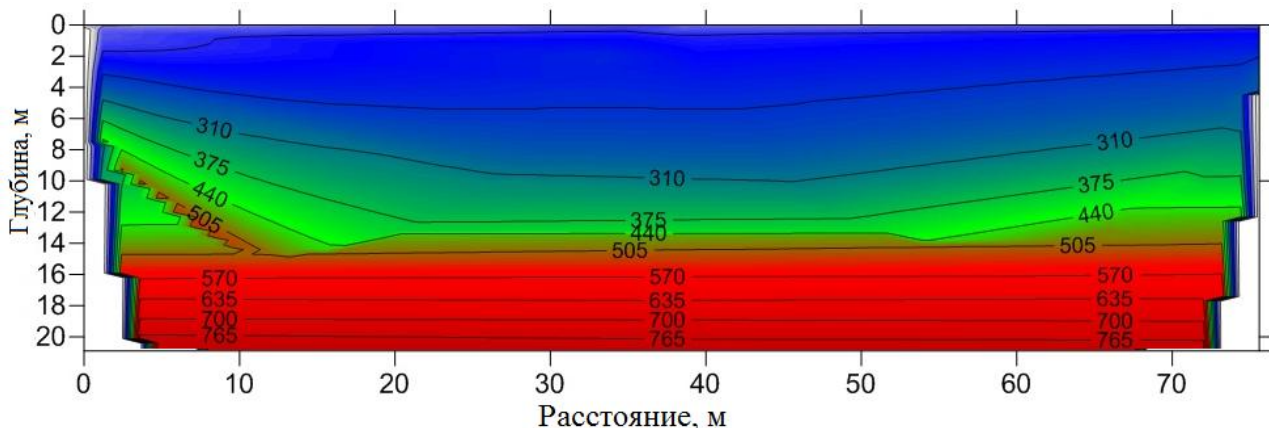


Рисунок 5. Скоростной разрез по поперечным волнам

Как видно из приведенных выше рисунков, скорости распространения поперечных волн в грунтах и глубины границ слоев, полученные по результатам двух методов сейсморазведки, имеют близкие значения, что говорит о достаточно точном определении обозначенных параметров. Но на разрезах, полученных по методике MASW и обработанных в программном комплексе «Godograf», распределение скоростей в среде носит градиентный характер, а в разрезе, полученном по методу t_0 , присутствуют границы выделенных слоев.

Заключение

В результате выполненных работ, можно сделать следующие выводы. Метод MASW имеет определенные существенные преимущества, а именно: высокая интенсивность поверхностных волн обеспечивает необходимое соотношение сигнал/шум; достаточно простая методика полевых работ, не требующая специальной аппаратуры; простая процедура обработки данных; широкие возможности применения метода.

При этом ему свойственны и некоторые недостатки:

- существуют ограничения при наблюдениях по методу многоканального анализа поверхностных волн – сильно расчлененный рельеф и наличие высокоскоростного слоя на поверхности. В случае, когда высокоскоростной слой лежит на однородном полупространстве с меньшей скоростью, существует предел по длине волны Рэлея, по достижению которого волна перестает существовать;
- методика полевых работ действительно простая, но требует выполнения отдельного вида работ. То есть использовать сейсмограммы из материалов сейсморазведки КМПВ или МОВ ОГТ не всегда представляется возможным. Кроме того, в качестве приёмников рекомендуется использовать не стандартные сеймоприемники, а низкочастотные (4,5 Гц) вертикальные геофоны;
- процедура обработки простая, но результат очень сильно зависит от входных параметров модели и не всегда стабилен;
- область применения результатов метода MASW требует уточнения, так как в настоящее время в соответствии с действующими нормативно-техническими документами России он не входит в число методов инженерной геофизики и применение его пока ничем не регламентировано. Поэтому, наряду с дальнейшим совершенствованием технологии наблюдений поверхностных волн, программных средств обработки и интерпретации, необходимым условием широкого применения метода MASW для целей инженерных изысканий является и придание ему более определенного статуса, как одного из признанных методов инженерной геофизики.

Ссылки

1. Choon B. Park, Richard D. Miller, Jianghai Xia, Julian Ivanov. Multichannel analysis of surface waves (MASW) – active and passive methods. Kansas Geological Survey, Lawrence, USA, 2007.
2. Julian Ivanov, Richard D. M., George T. Some practical aspects of MASW analysis and processing. SAAGEEP Extended Abstracts, CReSIS, Kansas Geological Survey, The University of Kansas, 2008.
3. Park C.B., Miller R.D., and Xia J. Multichannel analysis of surface waves: Geophysics, v. 64, n. 3, pp. 800-808, 1999.
4. Горяинов Н.Н. Применение сейсмоакустических методов в гидрогеологии и инженерной геологии. Мин-во геол. СССР; Всесоюз. науч.-исслед. ин-т гидрогеол. и инж. геол. -М.: Недра, 1992.
5. Турчков А.М., Вакуленко С.А., Забелян И.Г., Гончаров А.Б. Опыт применения многокомпонентного анализа поверхностных волн для определения строения верхней части разреза. Инженерная и рудная геофизика 2011 – Москва, 2011.