

Телеметрические системы ТЕЛСС-403, ТЕЛСС-ВСП – новые возможности изучения ВЧР

■ Федотов А. С., Федотов С. А., ООО «ГЕОСИГНАЛ», г. Москва

Конечные результаты малоглубинных сейсмических исследований в значительной степени зависят от параметров регистрирующих систем, их помехоустойчивости, возможности обеспечить высокую производительность работ. Соответственно, происходит постоянное развитие информационно-измерительных сейсмических комплексов.

Более 15 лет назад сотрудники ООО «ГЕОСИГНАЛ» разработали и начали изготовление линейных сейсморазведочных систем Эхо-3. Затем были запущены в серийное производство сейсмостанции Эхо-4, ЭЛЛИСС, ЭЛЛИСС-2. Все эти системы обладали, для своего периода времени, высокими техническими характеристиками (шум меньше 0.15 мкВ, нелинейные искажения меньше 0.001 %, динамический диапазон 116 дБ), широко внедрялись в отечественные производственные организации, несколько сейсмостанций было поставлены за рубеж. Несмотря на обеспечение приемлемого качества регистрации данных и удобство в эксплуатации, линейные сейсмостанции имеют ряд ограничений:

- большой вес систем с числом каналов более 48-ми;
- низкая помехозащищенность при работе в условиях электромагнитных и техногенных помех;
- трудоемкость раскладки и транспортировки на профиле сейсмических кос с шагом 5 и более метров.

Безусловно, при работе в «чистом поле», при отсутствии техногенных и электромагнитных помех, для решения достаточно тривиальных геологических задач использование линейных сейсмостанций вполне целесообразно. Однако,

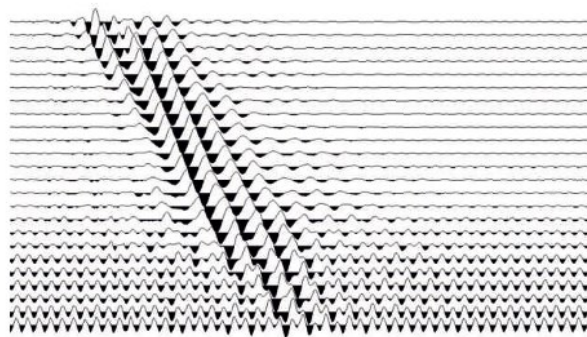
при проведении полевых работ в сложных условиях, сопряженных с высоким уровнем помех, а также при решении задач, требующих высокого разрешения, возникает необходимость в применении аппаратуры, соответствующей решаемым задачам, а именно, обеспечивающей многоканальный (не менее 96) прием данных, с высоким качеством регистрации данных.

Учитывая вышеизложенное, в 2005 году, была осуществлена разработка и освоено производство телеметрической системы ТЕЛСС-1. Первый комплект аппаратуры на 48 каналов с шагом косы 10 м был поставлен в ОАО «Краснодар-нефтегеофизика». Оборудование сразу же было отправлено Магаданскую область, где надежно обеспечила проведение полевых работ в жестких климатических условиях. Рабочий персонал и операторы мгновенно оценили надежность, мобильность и легкость телеметрической системы и, как следствие, была обеспечена высокая производительность работ. В последующем заказчиком были приобретены телеметрические модули и сейсмокосы, обеспечивающие построение 100-канальной регистрирующей системы.

В дальнейшем первое поколение телеметрической аппаратуры ТЕЛСС было поставлено в ряд производственных компаний. В следующей версии сейсмостанции были улучшены характеристики аналогового канала и уменьшены габариты и масса корпуса. В выпускаемой в настоящее время телеметрической системе ТЕЛСС-3[1], ООО «ГЕОСИГНАЛ» первым из отечественных компаний, производителей сейсморазведочного оборудования, применило 32-х разряд-

ное АЦП с интегрированным усилителем и входными ключами для построения аналогового канала. Благодаря этому удалось достичь высокого уровня технических характеристик, существенно снизить габаритные размеры и массу полевого модуля. Также в ТЕЛСС-3 был реализован сбор данных по беспроводному интерфейсу Wi-Fi.

Находясь в постоянном контакте с пользователями сейсмостанций, а также проводя собственные сейсмические работы, сотрудники ООО «ГЕОСИГНАЛ» чувствовали необходимость совершенствования производимой аппаратуры в плане повышения качества регистрации данных, производительности и удобства эксплуатации.



▲ Рис. 1. Сейсмограмма с сильным уровнем электромагнитных помех.

В 2013 г. был проведен эксперимент на одном из профилей с использованием линейной (ЭЛИСС-3) и телеметрической (ТЕЛСС-3) станций в условиях сильных электромагнитных помех. Исследование позволило сделать вывод, что

Параметр	ЭЛИСС-3	ТЕЛСС-3	ТЕЛСС-403
Количество каналов	24-96	24-960	24-1200
Разрядность АЦП	24	32	32
Мгновенный динамический диапазон, дБ	120	130	130
Период дискретизации, мс	0,0125; 0,05; 0,125; 0,25; 0,5; 1; 2; 4	0,25; 0,5; 1; 2; 4	0,25; 0,5; 1; 2; 4
Уровень шума в полосе 0-125 Гц мкВ	0,1	0,08	0,08
Коэффициент нелинейных искажений, %	0,001	0,0005	0,0005
Взаимное влияние между каналами, дБ	110	130	130
Потребляемая мощность на один канал, мВт	0,12	0,15	0,15
Кол-во каналов в измерительном модуле	24-96	4	3
Кол-во сейсмоприемников в полевом модуле	нет	нет	3
Полное тестирование системы регистрации и сейсмоприемников			

▲ Табл. 1.

несмотря на обеспечение высокого подавления синфазной составляющей (до 120 дБ) в аналоговом канале телеметрической системы ТЕЛСС-3, при выполнении работ в условиях сильных электромагнитных помех, на сейсмических каналах, располагающихся наиболее близко к источнику помех, прослеживается регистрация повышенного уровня шума (рис. 1). Стоит заметить, что значение уровня наводок на линейную сейсмостанцию было в 2-3 раза выше, чем на телеметрическую. Влияние помех может быть скомпенсировано путем накопления сигнала, причем, если для получения качественных зарегистрированных данных телеметрической станции требуется порядка 6 накоплений, то линейной станции требуется порядка 10 накоплений.

С целью минимизации влияния электромагнитных наводок, повышения помехозащищенности регистрирующей системы и производительности работ в конце 2013

года ООО «ГЕОСИГНАЛ» разработало новую телеметрическую систему трехкомпонентной регистрации данных ТЕЛСС-403.

В целом, для обеспечения малоглубинных сейсмических работ ООО «ГЕОСИГНАЛ» выпускает комплекс регистрирующей наземной и скважинной аппаратуры. Основные технические характеристики наземных регистрирующих систем приведены в таблице 1.

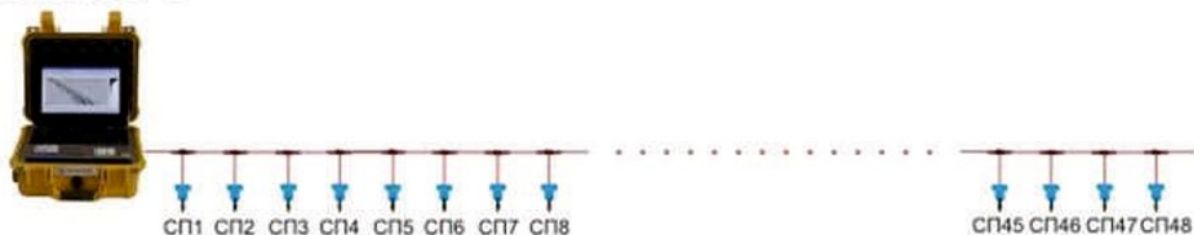
Как видно из таблицы наиболее высоким параметрам соответствуют телеметрические системы ТЕЛСС-3 и ТЕЛСС-403.

Отметим место и роль линейных и телеметрических станций в процессе эволюции систем регистрации.

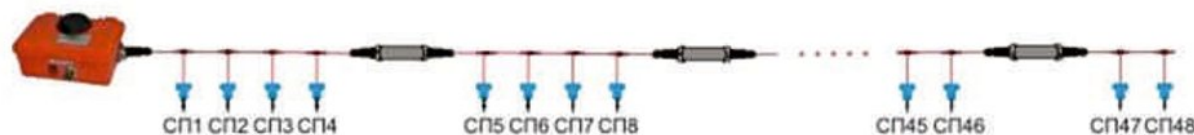
На рис. 2 приведена структура построения сейсморазведочных систем.

Сейсморазведочная система ЭЛИСС-3 представляет собой регистратор с подключаемыми сейсмическими косами на 24÷48 каналов. Наиболее типовое

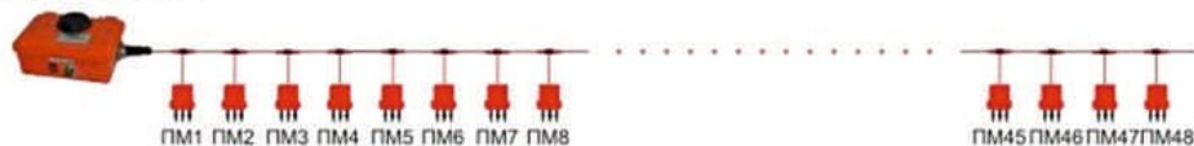
ЭЛИСС-3



ТЕЛСС-3



ТЕЛСС-403



▲ Рис. 2. Структура построения линейной и телеметрических систем.

использование линейной станции с числом каналов $24 \div 48$, причем увеличение канальности сопряжено со значительным увеличением веса сейсмических кос.

Телеметрическая система ТЕЛСС-3 наиболее востребована потребителями, благодаря своим высоким технологическим, эргономическим показателям. Она также существенно меньше по весу и позволяет организовать различные методы наблюдений: 2D, 3D, технологии «широкий профиль» и др.

Минимальный уровень шумов (0,08 мкВ), широкий динамический диапазон (130 дБ), минимальные нелинейные искажения (0,0005 %) обеспечивают регистрацию сейсмической информации с высокой точностью, а конструкция корпуса позволяет эксплуатировать систему в условиях мелководья и заболоченной местности. Наиболее востребованные системы с числом каналов $48 \div 96$, причем покупатель имеет возможность наращивать систему вплоть до 200 каналов, приобретая только дополнительные модули и соединительные кабели с сейсмоприемниками. Интерфейс системы сбора данных предусматривает использование как проводной системы USB 2.0, так и беспроводной по сети WI-FI. Отметим, что в телеметрической системе ТЕЛСС-3 при расстановке сейсмоприемников через 2 метра расстояние витой пары проводов от полевого модуля до сейсмоприемников составляет, соответственно, 0,9 и 2,9 м. В целом, использование станции ТЕЛСС-3 существенно повышает качество сейсмических данных относительно линейных станций.

Сейсмическая система ТЕЛСС-403 максимально оптимизирована к проведению малоглубинных сейсмических исследований и для этого существенно изменена структура построения регистрирующей системы.



▲ Рис. 3. Полевой модуль ТЕЛСС-403.

Полевой модуль ТЕЛСС-403 (рис. 3) адаптирован для регистрации 1-3 компонент сейсмического поля, причем геофоны GS-20DX и блоки телеметрической системы регистрации и передачи данных находятся в корпусе полевого модуля, который через короткий (1-2 м) 6-ти жильный кабель с концевым разъемом соединяется с линией связи. Линия связи представлена 6-ти жильным кабелем в полиуретановой оболочке с разъемами для подключения полевых модулей. Такое построение системы обеспечивает ее максимальную помехозащищенность, существенно меньший вес, а также максимальную производительность проведения малоглубинных исследований.

При разработке ТЕЛСС-403, в тесном сотрудничестве с ЗАО «Соединитель» были найдены сразу несколько технических решений для подключения полевого модуля к косе, разработаны и изготовлены ряд разъемов, обеспечивающих работоспособность системы в условиях мелководья и заболоченной местности. Качество и надежность ТЕЛСС-403, как и других производимых систем, обеспечивается полным циклом тестирования в климатической камере в температурном диапазоне - 40 - + 85 °С, что в совокупности с защитой печатных узлов путем

лакировки гарантирует безотказную работу оборудования.

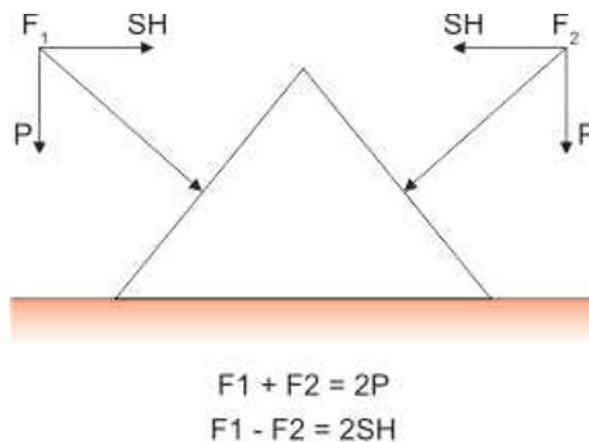
Проведение полевых сейсмических работ с помощью технологии общей глубинной точки (ОГТ) требует расстановки сейсмической косы с сейсмоприемниками продольных Р-волн и, соответственно, формирования пунктов возбуждения (ПВ) и пунктов приема (ПП) сигналов. После замены сейсмоприемников для регистрации поперечных SH-волн ПВ отрабатываются дважды (при возбуждениях «+Y» и «-Y», то есть с двух противоположных сторон от источника возбуждения (рис. 4)). Следует отметить, что расстояние между пунктами возбуждения при проведении работ по технологии ОГТ выбирается исходя из задаваемого разрешения. Так, при расстановке сейсмоприемников через 1-2 м, ПВ формируются через 2-4 м, при этом разрешение на исследуемых глубинах (15-20 м) составляет около 3-6 м и зависит от геологического разреза.

Для почти двукратного повышения производительности сейсмических исследований была разработана следующая технология:

- одновременное формирование Р- и SH-волн с использованием специализированного источника сейсмических колебаний (рис. 4);

- обеспечение одновременной регистрации Р- и SH-волн путем расстановки в каждой точке наблюдений сейсмоприемников продольных и поперечных волн, расстояние между которыми определяется исходя из задаваемой разрешающей способности геологических исследований.

При суммировании основных компонент помехи вычитаются, что позволяет увеличить амплитуду полезного сигнала в 1,5-2 раза и, соответственно, существенно снизить уровень помех. При

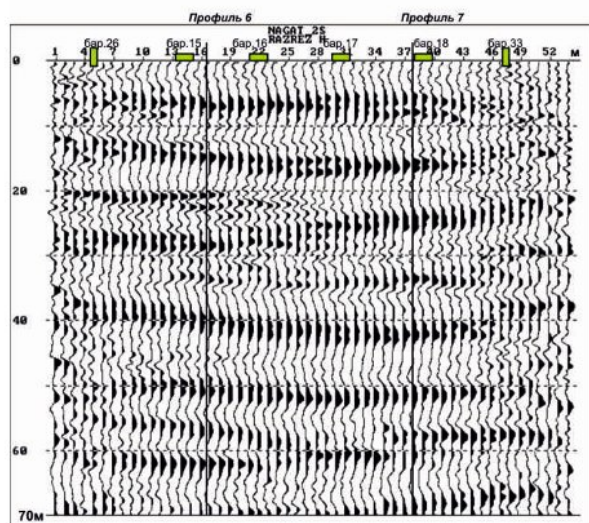


▲ Рис. 4. Схема возбуждения сейсмических продольных и поперечных волн.

использовании 96-ти канальной телеметрической системы производительность достигает 300÷350 м в смену при шаге расстановки сейсмоприемников 1 м, а пунктов возбуждения - 4 м. [2]

Для реализации указанной технологии, при использовании станции ТЕЛСС-3, необходимо установка в каждой точке измерений двух сейсмоприемников: вертикального GS-20DX и горизонтально-го GS-20DX-2B.

Применение телеметрической системы ТЕЛСС-403 с полевыми модулями, которые включают в себя вертикальный и горизонтальный геофоны, более предпочтительно, поскольку система компак-



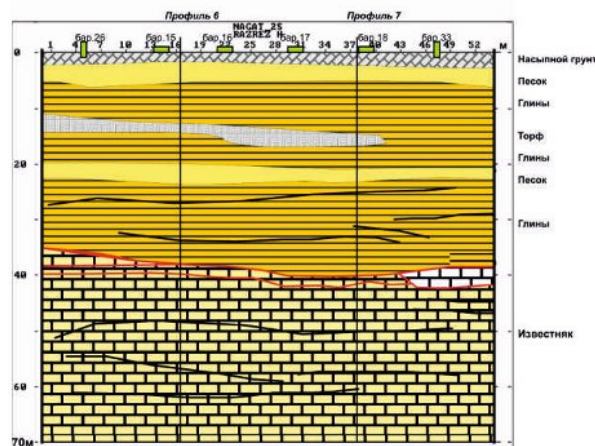
▲ Рис. 5. Глубинный сейсмический разрез.

тнее относительно ТЕЛСС-3. Но наиболее оптимальным для двухкомпонентных наблюдений будет использование телеметрической системы ТЕЛСС-402, включающей в себя один вертикальный и один горизонтальный сейсμοприемник, измерительный модуль на 2 канала.

На рис. 5 приведен глубинный сейсмический разрез на поперечных волнах, полученный на одном из строительных объектов с использованием телеметрической станции ТЕЛСС-3 при расстановке сейсμοприемников через 1 м, пунктами возбуждения через 4 м.

Как видно на глубинном сейсмическом разрезе хорошо отбиваются сейсмические границы в результате перебора скоростей при обработке данных. Однако, даже при наличии скважинной информации возникают неоднозначности глубинной привязки сейсмических границ.

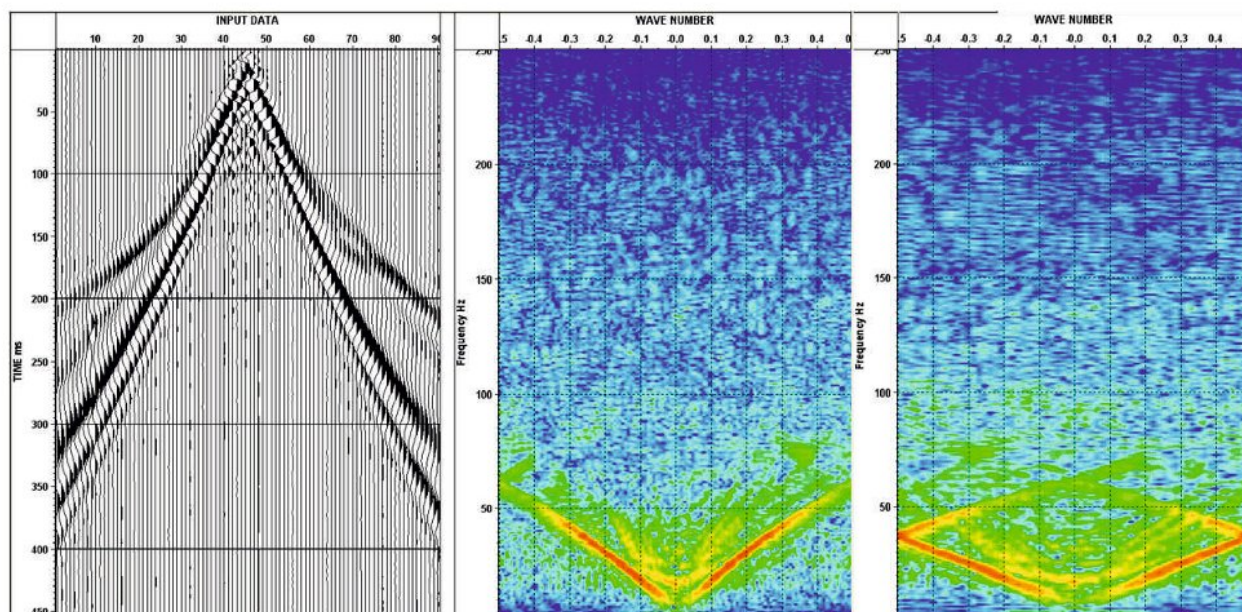
На рис. 6 представлена геологическая интерпретация с использованием имеющейся скважины для привязки сейсмических границ по глубине. Хорошее разрешение по глубине получено за счет



▲ Рис. 6. Геологическая интерпретация.

высокоплотной расстановки сейсμοприемников через 1 метр и использования F-K фильтров в процессе обработки данных. На рис. 7 приведены примеры двумерного F-K спектров для расстановки сейсμοприемников через 1 метр и через 2 метра. Из рисунков следует, что уже на частотах 25-33 Гц видны волновые помехи, которые устраняются при расстановке сейсμοприемников через 1 м [3].

В 2012 году был разработан и внедрен в производство компактный телеметрический скважинный комплекс ТЕЛСС-ВСП, обеспечивающий комплексирова-



▲ Рис. 7. Использование F-K фильтров при шаге расстановки 1 и 2 метра.

► Табл. 2.
Основные параметры
комплекса ТЕЛСС-ВСП.

Вес скважинного зонда, кг	9
Диаметр скважинного зонда, мм	60
Усилие прижима	80
Минимальный диаметр исследуемой скважины, мм	80
Максимальный диаметр исследуемой скважины, мм	140

ние скважинных и наземных сейсмических исследований. Основные параметры комплекса приведены в таблице 2.

Технологически, для передачи данных скважинный прибор соединен с блоком регистрации 6-ти жильным телеметрическим кабелем, по которому передается информация из блока электроники скважинного прибора в цифровом виде от трех ортогонально расположенных сейсмоприемников.

Перемещение в скважине при опущенном прижиге производится с помощью троса диаметром 4-5 мм. В целом, вес прибора с кабелем 100 м и системой регистрации составляет не более 20 кг.

На одном из исследуемых объектов были проведены исследования (рис. 8) с помощью скважинного комплекса ТЕЛСС-ВСП.

На рис. 9 представлены скоростные зависимости V_p и V_s в функции глубины, а на рис. 10 - скоростная модель исследуемого объекта.

Приведенные примеры показывают эффективное использование скважинной системы ТЕЛСС-ВСП как в комплексе с поверхностными сейсмическими исследованиями, так и для изучения кинематических и динамических характеристик сейсмического поля при скважинных исследованиях.

Выводы

1. В настоящее время для проведения малоглубинных инженерно-геофизических исследований разработаны

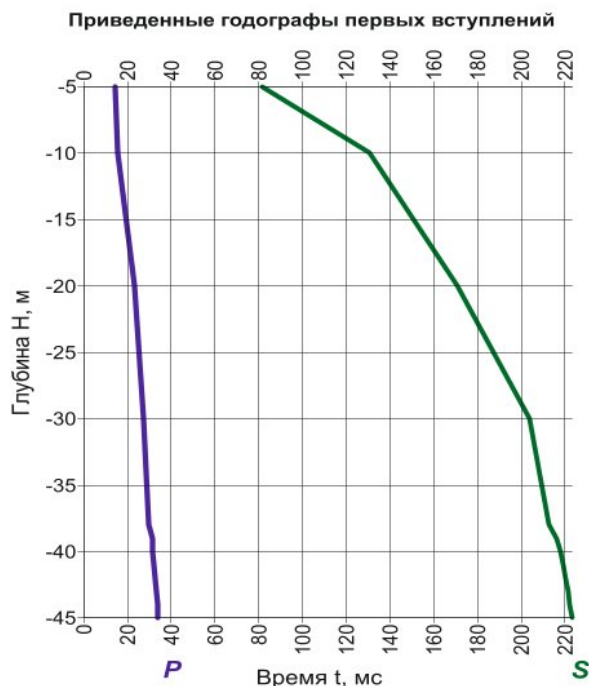
и широко внедрены в производство линейные и телеметрические системы, причем в последние несколько лет наибольшим спросом у потребителей пользуются именно телеметрические системы. Так к настоящему времени поставлены около 30 сейсмостанций ТЕЛСС-3 с общим числом каналов более 2000.

2. Разработана и поставлена потребителю первая система ТЕЛСС-403 обладающая наибольшей помехоустойчивостью и обеспечивающая одновременную трехкомпонентную регистрацию сейсмического поля с общим числом каналов 288 (96 полевых модуля).

3. Разработанный скважинный комплекс ТЕЛСС-ВСП позволяет комплекси-



▲ Рис. 8. Проведение работ на объекте.



▲ Рис. 9. Скоростные зависимости V_p , V_s .

ровать скважинные и поверхностные сейсмические исследования, а также проводить ВСП различных модификаций (непродольное ВСП, обменное ВСП и др.).

4. Использование сейсмической станции ТЕЛСС-403 и скважинного комплекса ТЕЛСС-ВСП позволяет реализовать новые возможности повышения качества регистрируемых сейсмических данных, увеличить производительность сейсмических работ и обеспечить высокую достоверность результатов интерпретации.

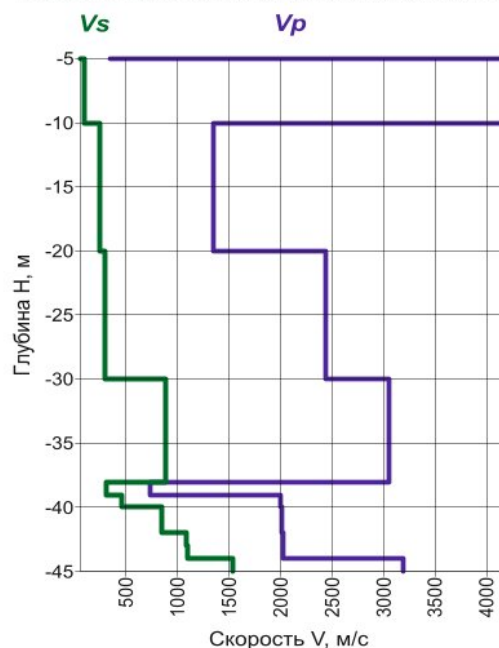
Подробнее об авторах



Федотов
Александр Сергеевич

генеральный директор
ООО "Геосигнал"

Графики скоростей распространения сейсмических волн



▲ Рис. 10. Скоростная модель исследуемого объекта.

Литература

1. Федотов А. С., Федотов С. А. «ТЕЛСС-3: Два года в производстве и эксплуатации у потребителей». «Приборы и системы разведочной геофизики», №3/2012, стр. 6-9.
2. Федотов С.А., Федотов А.С., Федорова М.П. «Повышение помехоустойчивости, разрешающей способности и производительности многоволновой сейсморазведки при инженерно-геофизических исследованиях», «Инженерные изыскания», 2011, №11, стр. 60-65.
3. Рагозин Н.А., Федотов А.С. «Возможности обработки многоканальных сейсморазведочных данных», «Инженерные изыскания», 2012, №11, стр. 29-34.



Федотов
Сергей Александрович

заместитель генерального
директора ООО "Геосигнал"