

Реальные преимущества телеметрических станций для исследования ВЧР

■ Мишин А.В., Семейкин Н.П., Трушков В.Н., ООО «Логис», г. Москва

Утверждение, что телеметрическая инженерная сейсмостанция по качеству полученного материала имеет преимущество перед линейной станцией, весьма спорно. Качество полученного материала, в первую очередь, зависит от используемой элементной базы и варианта построения системы на выбранной элементной базе.

В статье "Основные преимущества сейсмической телеметрической системы "ТЕЛСС-3" при малоглубинных исследованиях" [1] утверждается, что телеметрические станции с небольшим числом каналов в одном модуле имеют меньшее взаимное влияние каналов за счет уменьшения емкостных связей при уменьшении длины проводов в сейсмокосе, неизбежно очень длинных в сейсмокосах линейных станций. Но так как сейсмические станции должны записывать низкочастотные сигналы, отфильтровывая высокочастотные, то наводки на витые пары, соединяющие входные дифференциальные каскады сейсмостанции и геофоны имеют магнитный характер [2]. Хорошо сбалансированная витая пара имеет минимальное магнитное излучение. При наличии минимального излучения, связанного с недостаточным балансом витой пары, наводка на витую пару, соединяющую другой входной каскад сейсмостанции с геофоном, имеет синфазный характер. Для подавления синфазных сигналов в качестве входного каскада применяется инструментальный дифференциальный усилитель. Таким образом, можно сказать, что основным показателем подавления наводок в сейсмокосе является подавление синфазного сигнала входным каска-

дом сейсмостанции. В основном, взаимное влияние между каналами может происходить после прохождения сигнала через дифференциальный каскад. Решение этой проблемы зависит от разработчика аппаратуры, осуществляющего выбор конструктивных решений при построении самой сейсмостанции.

В той же статье утверждается, что сигнал геофона имеет большое затухание в длинных линиях (200-500 метров). Как известно, сопротивление линии вычисляется по формуле:

$$R_n = \rho * L / S = 47,8 \text{ Ом},$$

где ρ – удельное сопротивление меди $= 1,724 * 10^{-8} \text{ Ом} * \text{м}$;

L – длина проводника 500 метров;

S – площадь поперечного сечения $0,18 * 10^{-6} \text{ м}^2$.

Т.е., при входном сопротивлении сейсмостанции 47 КОм сопротивление линии практически не вносит затухания в сигнал.

Исходя из вышеприведенных соображений, можно сделать вывод, что построение сейсмостанций на базе малоканальных блоков регистрации не приводит к существенному увеличению соотношения сигнал/шум за счет сокращения длины проводов, соединяющих блок регистрации и геофон.

Если предположить, что линейная и телеметрическая станции построены на одной и той же элементной базе, обеспечивающей достаточное подавление синфазной составляющей входного сигнала и соответствующий динамический диапазон, то в чем, собственно, преимущество?

Параметры	Лакколит-МЗ	ТЕЛСС-3
Динамический диапазон при $F_d = 500$ Гц, Коэффициент усиления (КУ)=1	120 дБ	127 дБ
Динамический диапазон при $F_d = 500$ Гц, КУ=100 (Лакколит), КУ=64 (ТЕЛСС)	110 дБ	111 дБ
Динамический диапазон при $F_d = 4000$ Гц, КУ=1	111 дБ	118 дБ
Динамический диапазон при $F_d = 4000$ Гц, КУ=100 (Лакколит), КУ=64 (ТЕЛСС)	102 дБ	103 дБ
Подавление синфазной составляющей при КУ=1	100 дБ	110 дБ
Уровень шума	13 нВ/ $\sqrt{\text{Гц}}$	5 нВ/ $\sqrt{\text{Гц}}$
Максимальный уровень сигнала	$\pm 3.5\text{В}$	$\pm 2.5\text{В}$

▲ Табл. 1.

При этом можно отметить, что результаты работ, полученные на современных сейсмостанциях, построенных на разной элементной базе, на самом деле не сильно отличаются друг от друга.

Для подтверждения этого высказывания рассмотрим характеристики серийных сейсмостанций "Лакколит-МЗ" и "ТЕЛСС-3".

Хотя сейсмостанция "Лакколит-МЗ" является телеметрической, состоящей из блоков регистрации по 24 канала, ее можно рассматривать в качестве 24-канальной линейной сейсмостанции.

Сейсмостанция "ТЕЛСС-3" построена на базе АЦП производства "Texas Instruments" [3] (динамический диапазон 130 дБ при полосе 103 Гц). В таблице 1 приводятся лучшие значения параметров от производителя микросхем, а не реальные технические характеристики блока регистрации "ТЕЛСС-3". Вряд ли разработчики "ТЕЛСС-3" смогли улучшить эти значения.

Рассмотрим характеристики, которые обеспечиваются обоими приборами.

Если учесть, что максимальный уровень сигнала, который может пропустить входной каскад сейсмостанции "Лакколит-МЗ", на 3 дБ выше и динамический диапазон меньше на 7 дБ, то уровень шумов при единичном усилении сей-

смостанции "Лакколит-МЗ" выше на 10 дБ и подавление синфазной составляющей на 10 дБ меньше, следовательно, уровень наводок может быть выше. В связи с этим, при низком уровне сигнала при единичном усилении станция "ТЕЛСС-3" выполнит запись более качественно. Но при работе с любой сейсмостанцией усиление должно устанавливаться максимальным, с тем учетом, что при используемом усилении не будет возникать ограничение входного сигнала. Это связано с необходимостью уменьшения влияния шумов входного каскада сейсмостанции на принимаемый сигнал (чем больше усиление, тем меньше уровень аппаратных шумов). В таблице 1 приведен уровень шума входных каскадов при максимальном усилении.

При увеличении усиления входного каскада также увеличивается подавление синфазного сигнала. При максимальном усилении входного каскада "Лакколит-МЗ" обеспечивает подавление синфазного сигнала на 123 дБ.

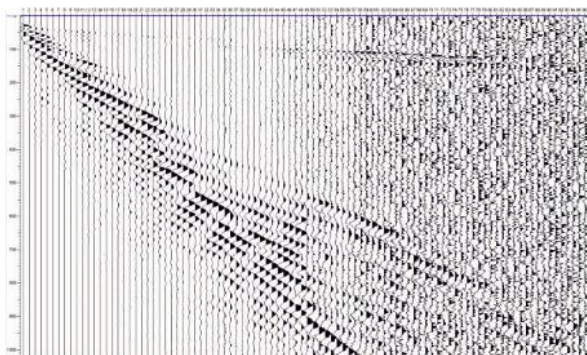
Если использовать сейсмостанции правильно (с точки зрения минимизации аппаратных шумов), то разница в записях, полученных на сейсмостанциях "Лакколит-МЗ" и "ТЕЛСС-3", практически исчезает. При этом следует учесть, что сейсмостанция "ТЕЛСС-3" более чем в



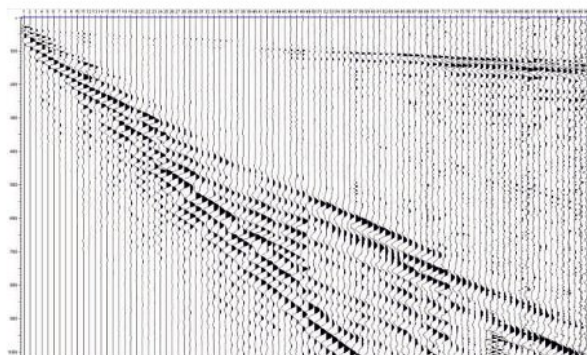
▲ Рис. 1. Блок синхронизации и блок регистрации телеметрической сейсмостанции "Лакколит-МТ" (слева), сейсмостанция "Лакколит-24-М3" (справа).

два раза дороже сейсмостанции "Лакколит-М3".

Изложенная выше теория подтверждается экспериментом, проведенным с использованием сейсмостанций "Лакколит-М3" и новой сейсмостанции "Лакколит-МТ" (рис.1).



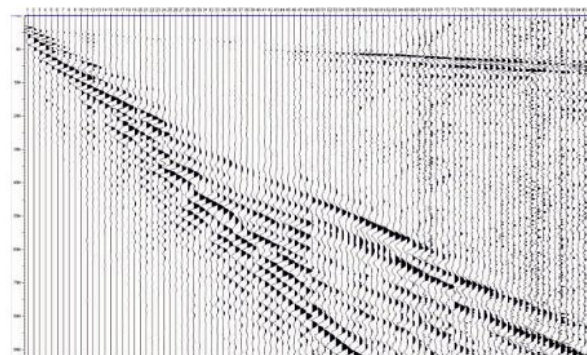
▲ Рис. 2а. "Лакколит-24-М3", КУ=1



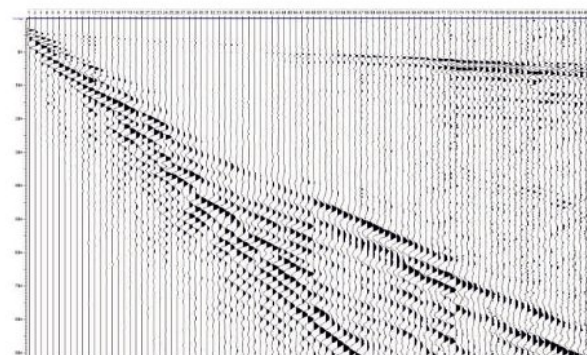
▲ Рис. 3а. "Лакколит-24-М3", КУ=100

Сейсмостанция "Лакколит-МТ" – телеметрическая многоканальная сейсмостанция, построенная на базе тех же АЦП, что и сейсмостанция "ТЕЛСС-3". При разработке сейсмостанции "Лакколит-МТ" удалось достичь показателей, задаваемых производителем АЦП. В связи с этим, можно сделать вывод, что технические характеристики сейсмостанции "Лакколит-МТ" не хуже технических характеристик сейсмостанции "ТЕЛСС-3". Сейсмостанция "Лакколит-МТ" состоит из набора шестиканальных блоков регистрации (в зависимости от требуемого числа каналов) и блока синхронизации. Количество каналов блока регистрации выбрано с точки зрения возможности подключения двух трехкомпонентных геофонов.

На рис. 2 представлены записи 24-х канальных сейсмостанций "Лакколит-М3" и "Лакколит-МТ", выполненные с выносом на 0, 48, 96 и 144 метра (96 трасс) при единичном коэффициенте



▲ Рис. 2б. "Лакколит-МТ", КУ=1



▲ Рис. 3б. "Лакколит-МТ", КУ=64

усиления и частоте дискретизации 1000 Гц без накопления.

На рис. 3 представлены записи, выполненные при тех же условиях, но при максимальном усилении.

Анализ записей, представленных на рис. 2 и рис. 3, подтверждает, что для уменьшения влияния аппаратных шумов при использовании любой сейсмостанции необходимо правильно применять усиление входных каскадов.

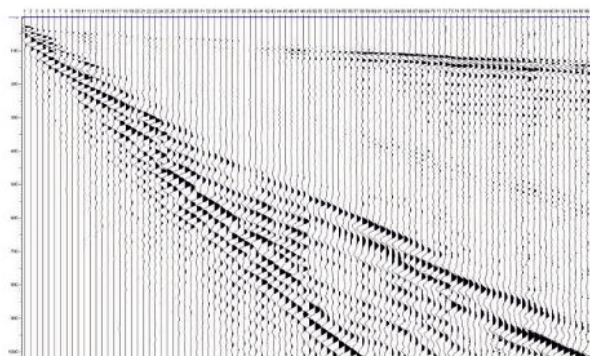
Еще большее улучшение соотношения сигнал/шум дает накопление сигнала. На рис. 4 представлены записи, выполненные при тех же условиях, при максимальном усилении и при накоплении (N) 10.

Если разница полученных материалов при правильном использовании сейсмостанций "Лакколит-М3" и "Лакколит-МТ" столь незначительна, то для чего создавалась сейсмостанция "Лакколит-МТ"?

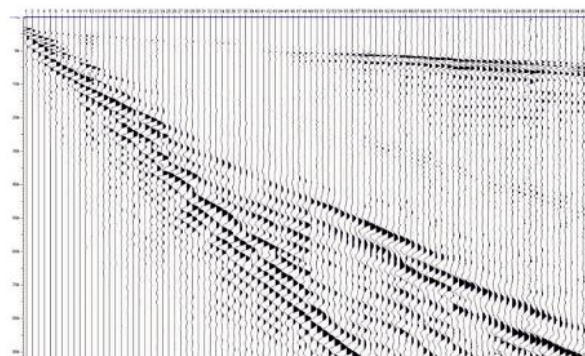
Для организации многоканальной сейсмостанции на базе блоков регистрации "Лакколит-М3" необходимо применение дополнительного оборудования связи. Тип применяемого оборудования, а также сложность его настройки и установки на профиле зависят от количества каналов в станции и длины сейсмокос, с которыми работают блоки регистрации. Также, в связи с ограниченной стабильностью опорных генераторов, установленных в блоках регистрации многока-

нальной сейсмостанции "Лакколит-М3", и отсутствием единой синхронизирующей частоты между блоками, сейсмостанция не может выполнять длительные записи. Это связано с тем, что если в начале записи блоки регистрации синхронизируются и нестабильность опорных генераторов не оказывает влияния на получение отсчетов, то со временем синхронность получения отсчетов разными блоками может быть нарушена. Таким образом, максимальная длительность записи ограничивается во избежание влияния нестабильности опорных генераторов разных блоков на получение отсчетов в конце записи.

В отличие от "Лакколит-М3" блоки регистрации "Лакколит-МТ" содержат элементы интеграции в единую телеметрическую систему, обеспечивающие передачу данных на скорости 100 Мбит/сек. Таким образом, для создания многоканальной сейсмостанции достаточно объединить блоки регистрации с помощью недлинных и легких звеньев сейсмокосы, что существенно облегчает монтаж, демонтаж и подготовку к работе сейсмостанции. При этом, темп выполнения записей на "Лакколит-МТ" относительно "Лакколит-М3" не снижается. "Лакколит-МТ", также как и "Лакколит-М3", в процессе выполнения записи может передавать в реальном времени полученные и обработанные данные в



▲ Рис. 4а. "Лакколит-М3", КУ=100, N=10



▲ Рис. 4б. "Лакколит-МТ", КУ=64, N=10

управляющий компьютер, снижая накладные расходы на передачу данных до минимума.

Также следует отметить, что блоки регистрации сейсмостанции "Лакколит-МТ" синхронизируются единой частотой, вырабатываемой высокостабильным кварцевым генератором, установленном в блоке синхронизации, что позволяет выполнять длительную запись с высокой корреляцией между каналами разных блоков.

Таким образом, в сейсмостанции "Лакколит-МТ" решены проблемы низкой скорости работы и влияния нестабильности разных опорных генераторов при выполнении длительных записей, возникающие при построении многоканальных телеметрических станций.

К сожалению, увеличение динамического диапазона и уменьшение уровня шума достигается за счет уменьшения рабочей полосы частот. "Лакколит-МТ" как и "ТЕЛСС-3" имеет максимальную рабочую полосу частот 1,65 КГц. И это при том, что "Лакколит-МЗ" имеет максимальную рабочую полосу частот 4 КГц, которая может быть расширена до 8 КГц. Т.е., "Лакколит-МЗ", в отличие от "Лакколит-МТ" и "ТЕЛСС-3", может быть использован для более широкого круга задач.

Почему для построения "Лакколит-МТ" было принято решение использовать другую элементную базу, отличную от элементной базы сейсмостанции "Лакколит-МЗ"?

Прежде всего, потому, что применяемые АЦП производства "Texas Instruments" – это элементы очень высокого качества и высокой степени интеграции, содержащие в себе малошумящий инструментальный усилитель, аналого-цифровой преобразователь высокого разрешения и цифровой фильтр в одном корпусе. Применение данных микросхем позволяет существенно уменьшить габаритные размеры, вес и потребление электроэнергии аналоговым трактом.

Так в чем же преимущество телеметрических станций?

В первую очередь, преимущество телеметрических станций заключается в возможности создания очень большого числа каналов. Это связано с тем, что в линейных станциях, в отличие от телеметрических, при увеличении числа каналов соответственно увеличивается количество проводов в сейсмокосе, вследствие чего значительно увеличивается вес. Например, общая масса исключительно линейной 24-х канальной сейсмостанции SGD-SEL составляет 33 кг, а общая масса 96-и канальной сейсмостанции

▼ Табл. 2.

Тип сейсмостанции		Количество каналов				
		24	48	96	192	384
Лакколит-МТ	Общая масса, кг ⁽¹⁾	19.2	33	61	118	230
Лакколит-МЗ	Общая масса, кг	19.5	38	75.5	150	300

⁽¹⁾ Общая масса приведена с учетом массы сейсмокосы с шагом 2 метра, а также массы геофонов, аккумуляторной батареи, выбранной с учетом непрерывной работы станции в течение 10 часов, и блока управления.

станции SGD-SEL уже составляет 257 кг. Увеличение количества каналов до 384 увеличивает общую массу станции до 3,5 тонн! [4] Возможность создания линейных сейсмических станций с большим числом каналов (1000 и более) вызывает очень большие сомнения. Общая масса телеметрических станций существенно ниже (Таблица 2).

Второе преимущество состоит в том, что длинная и тяжелая сейсмокоса разделяется на короткие и легкие звенья, что существенно упрощает работу при ее монтаже или демонтаже.

Третье преимущество заключается в модульности конструкции. Если по каким либо причинам блок регистрации выходит из строя, нет необходимости отправлять многоканальный блок регистрации на ремонт. Возьмем в качестве примера "Лакколит-МЗ" и "Лакколит-МТ". В случае выхода из строя одного канала "Лакколит-МЗ" приходится отправлять на ремонт 24-канальный блок. В случае выхода из строя одного канала "Лакколит-МТ" приходится отправлять на ремонт один 6-канальный блок из четырех (при том же количестве каналов в сеймостанции). Кстати, выход из строя блоков чаще всего связан с нарушением правил эксплуатации оборудования (работа в грозу или (из нашей практики) если блок регистрации запитан от источника питания с недопустимым напряжением).

При всех преимуществах телеметрических станций, построенных на базе малоканальных блоков регистрации, есть их недостаток – это более высокая стоимость по сравнению со станциями, построенными на базе многоканальных регистраторов. Это связано с тем, что к малоканальным блокам регистрации предъявляются повышенные требования к условиям эксплуатации, так как блоки

регистрации становятся частью сейсмокосы и должны работать даже при неглубоком погружении в воду, что приводит к применению дорогостоящих технологических решений и элементной базы. Но этот недостаток вполне окупается простотой в эксплуатации и повышением производительности выполняемых работ (при условии сохранения скорости передачи данных и улучшении качества получаемого материала).

Литература

[1] Федотов С.А., Федотов А.С., Основные преимущества сейсмической телеметрической системы «ТЕЛСС-3» при малоглубинных исследованиях. "Приборы и системы разведочной геофизики", № 2/2012, с. 30.

[2] Г.Отт "Методы подавления шумов и помех в электронных системах", перевод с английского Б.Н. Бронина, под редакцией к.т.н. М.В. Гальперина, Издательство "Мир", Москва, 1979 г.

[3] Федотов А.С., Харламов А.В., Телеметрическая система ТЕЛСС-3: новые возможности. "Приборы и системы разведочной геофизики", № 4/2010, с. 21.

[4] Золотарев В.Н., Ревунов А.Б., Сыроватин Д.В., Черепанов В.П., Телеметрическая сейморазведочная станция SGD-SET для инженерных геофизических исследований. "Приборы и системы разведочной геофизики", № 3/2008, с. 21.