

“Прогресс-Л” - средство измерения?!

По меткому выражению Д.И. Менделеева "... наука начинается с тех пор, когда начинают измерять...". А недавно это случилось в разведочной геофизике: сейсморазведочная станция “Прогресс-Л” сертифицирована компетентным органом Госстандарта РФ и зарегистрирована в государственном реестре средств измерения за №19271-00.

К вопросу о метрологическом обеспечении линейных сейсморегистрирующих систем

Тарасов Н.В., ОАО «СКБ СП», Саратов

Более трех лет назад был принят закон Российской Федерации “Об обеспечении единства измерений”, призванный регулировать отношения государственных органов управления с юридическими и физическими лицами по вопросам изготовления, эксплуатации, ремонта и продажи средств измерений. Однако длительное время ситуация в области метрологического обеспечения сейсморазведочной аппаратуры существенно не менялась.

Нельзя сказать, что этот вопрос не обсуждался на разных уровнях. В ряде публикаций в “Геофизическом вестнике” на основе анализа технического состояния метрологических служб отрасли и их технической оснащенности неоднократно делались выводы о неудовлетворительном положении дел с метрологическим обеспечением в сейсморазведке. Многочисленные совещания по вопросам метрологии сейсморазведки, проводившиеся соответствующими Управлениями Министерства Энергетики и Министерства Природных Ресурсов, не приводили к выработке единой концепции.

Правда, наблюдались и позитивные моменты. К их числу следует отнести создание пакета стандартов ЕАГО, предназначенных для целей сертификации сейсморазведочной аппаратуры:

Ст 023-01-98 Геофизическая аппаратура и оборудование. Блоки сбора данных. Методы измерения основных параметров.

Ст 022-01-98 Геофизическая аппаратура и оборудование. Станции сейсморазведочные цифровые. Методы измерения основных параметров.

Ст 020-01-96 Геофизическая аппаратура и оборудование. Блоки сбора данных. Параметры и характеристики.

Ст 019-01-96 Геофизическая аппаратура и оборудование. Станции сейсморазведочные. Параметры и характеристики.

Однако и эта работа не была полностью завершена из-за отсутствия финансирования.

Переломным моментом следует считать март 2000 г., когда Госстандартом РФ сейсмо-

разведочная станция “Прогресс-Л” была сертифицирована и зарегистрирована в государственном реестре средств измерения под №19271-00.

В кругах специалистов, занимающихся разработкой и эксплуатацией геофизической аппаратуры, вот уже четверть века ведутся споры: является ли данная аппаратура средством измерения. С выходом документов МИ 2438-97, МИ 2439-97, МИ 2440-97, МИ 2441-97, утвержденных Госстандартом России, появляется понятие “информационно-измерительная система”, которому в полной мере соответствуют современные сейсмостанции, используемые при проведении поисковых работ на нефть и газ.

Действительно, если взглянуть на функциональную схему любой сейсморегистрирующей станции, то становится очевидным, что ее канал записи представляет собой совокупность устройств для приема, преобразования и записи сейсмических сигналов и, в итоге, создающих измерительную установку для измерения напряжения (амплитуды) сигнала и интервалов времени. Следовательно, сейсморегистрирующую станцию можно отнести к классу информационно-измерительных систем, которые в свою очередь характеризуются рядом метрологических и технических характеристик и соответственно требуют периодического контроля, являющегося залогом повышения точностных показателей в процессе регистрации геофизической информации.

Признание станции средством измерения в целом повысило технологическую дисциплину при ее эксплуатации. Невозможным стало выполнять поверку в произвольные моменты времени, произвольным образом, с использованием неуповенных штатных приборов. Необходимо было ориентироваться на нормализованную методику поверки, нормализованный инструментарий, нормализованный регламент поверок. Поверки должны выполняться компетентным персоналом. Обеспечение этих условий требует дополнительных затрат: временных, финансовых, организационных. Однако затраты эти должны окупиться сторицей, поскольку качество регистрируемого полевого материала находится в прямой зависимости от состояния параметров канала записи сейсморазведочной станции.

Разработка системы метрологического обеспечения сейсмостанции “Прогресс-Л”

Верховых Ю.Ф., Карпов О.В., Кубышкин В.В, ВНИИФТРИ, Москва

Тарасов Н.В., Тарасова О.В., ОАО «СКБ СП», Саратов

Разработана система метрологического обеспечения сейсмостанции “Прогресс-Л”. Работа состояла из нескольких этапов, основные из которых следующие (в хронологическом порядке):

- Создание методики поверки сейсмостанции на базе разработанного в СКБ СП программно-вычислительного комплекса “КОНТР-Л” с использованием штатных приборов, генерирующих тестовые сигналы

и измеряющих параметры рабочих сигналов: генератор ГЗ-118, измеритель нелинейных искажений СК6-13, частотомер электронно-счетный ЧЗ-57, генератор шума низкочастотный ГЗ-57, вольтметр универсальный В7-16.

● Проведение испытаний сейсмостанции "Прогресс-Л" с целью утверждения типа средства измерений основных параметров сейсмических сигналов: времен прихода сигналов, интервалов времени, амплитуды сигналов сейсмоприемников, отношения сигнал/шум. Параметры сейсмостанции вычислялись по разработанным алгоритмам путем

Разработка генератора цифровых тестовых сигналов и проведение на его основе метрологической аттестации программного комплекса "КОНТР-Л". Аттестация проводилась в соответствии с нормативными документами МИ 2517-99 "Метрологическая аттестация программного обеспечения средств измерений параметров физических объектов и полей с использованием компьютерных программ генерации цифровых тестовых сигналов" и МИ 2518-99 "Метрологическая аттестация алгоритмов и программ генерации

Таблица 1.

Наименование характеристики (параметра)	Результаты испытаний	Значение параметра (характеристики) по ТУ
Диапазон измеряемых значений напряжения входного сигнала сейсмического канала записи, мкВ	$0,2 \div 713 \cdot 10^3$	$0,2 \div 713 \cdot 10^3$
Пределы допускаемой относительной погрешности измерения напряжения, %	$\pm (0,059 \div 0,103)$	± 1
Диапазон измеряемых временных интервалов, мс	$0,5 \div 99 \cdot 10^3$	$0,5 \div 99 \cdot 10^3$
Пределы допускаемой относительной погрешности измерения интервалов времени, %	$\pm (0,0029 \div 0,0039)$	$\pm 0,005$
Среднеквадратическое значение собственных шумов, мкВ	не более 0,141	0,200
Амплитудная неидентичность между каналами, %	не более 0,171	0,2
Коэффициент нелинейных искажений, %	не более 0,0076	0,01
Коэффициент взаимных влияний каналов, дБ	-82,4	≤ -78
Допускаемые пределы напряжения смещения нуля сейсмического канала записи, мкВ	$0,002 \div 0,002$	$\pm 0,5$

обработки тестовых сигналов, прошедших через каналы записи сейсмостанции. Для каждого параметра разработан свой тестовый сигнал с заданными характеристиками. В таблице 1 приведены результаты испытаний сейсмостанции. Приведены основные метрологические и технические характеристики сейсмостанции, полученные при испытаниях, и их значения по ТУ.

цифровых тестовых сигналов" с помощью специальных модельных сигналов (см. врезку).

В результате метрологической аттестации определены метрологические характеристики программно-вычислительного комплекса "КОНТР-Л" погрешности определения основных параметров сейсмических сигналов, которые приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Основные метрологические характеристики "Контр - Л"					
Наименование измеряемого параметра	Частота тестового сигнала, Гц	Заданное значение параметра тестового сигнала	Вычисленное (измеренное) значение параметра	Относительная погрешность измерения "Контр - Л", %	Допускаемое значение погрешности по тех. документам на "Контр - Л"
Амплитуда напряжения сигнала	39	9.2 мВ	9.201 мВ	$\pm 0,011$	$\pm 0,2$
	39	36.875 мВ	36.878 мВ	$\pm 0,008$	$\pm 0,2$
	39	147.5 мВ	147.520 мВ	$\pm 0,0135$	$\pm 0,2$
	39	500 мВ	500.11 мВ	$\pm 0,022$	$\pm 0,2$
	39	590 мВ	590.130 мВ	$\pm 0,022$	$\pm 0,2$
	20	590 мВ	590.025 мВ	$\pm 0,004$	$\pm 0,2$
	50	590 мВ	589.975 мВ	$\pm 0,004$	$\pm 0,2$
	437	147.3 мВ	147.32 мВ	$\pm 0,0136$	$\pm 0,2$
Период квантования	20	1 мс	0.9999997 мс	$\pm 0,00003$	$\pm 0,0005$
Интервал времени	20	50 мс	50.000016 мс	$\pm 0,000032$	$\pm 0,0005$
Уровень собственных шумов при максимальном коэффициенте усиления	3 ÷ 125	0,2 мкВ	0.195784 мкВ	$\pm 2,1$	± 5

Результаты аттестации свидетельствуют о том, что "КОНТР-Л" по своим метрологическим характеристикам вполне пригоден для проведения проверки сейсмостанций серии "Прогресс-Л", в пределах допустимых погрешностей.

Работа завершилась выдачей Свидетельства о метрологической аттестации программного комплекса "КОНТР-Л".

В качестве генератора цифровых тестовых сигналов для испытаний программного комплекса "КОНТР-Л" в соответствии с методикой испытаний сейсмостанции "Прогресс-Л", указанной в технических условиях Яд1530.044ТУ использовались модельные сигналы 4-х видов.

1-й из них кроме основной гармоники содержит дополнительные гармонические составляющие, имитирующие нелинейные искажения реальной системы;

2-й предусматривает в своем составе шумовую составляющую;

3-й и 4-й обеспечивают условия для обнаружения амплитудной и фазовой неидентичности каналов испытуемой системы.

$$U_n = U_i \cdot \sin(2\pi f_i \cdot nT_{cs}) + \sum_{i=2}^5 U_i \cdot \sin(2\pi f_i \cdot nT_{cs}) + \sum_{i=10}^{125} U_{\omega} \cdot \sin(2\pi k \cdot nT_{cs}) + U_{\omega} + U^{nc} \cdot \sin(2\pi f_i \cdot nT_{cs}) + U^{nc} \cdot \sin(2\pi f_i \cdot nT_{cs})$$

$$U_{\omega} = K \cdot U_i \cdot \sin(2\pi f_i \cdot nT_{cs}) + \sum_{i=2}^5 [U_i \cdot \sin(2\pi f_i \cdot nT_{cs})] + \sum_{i=10}^{125} U_{\omega} \cdot \sin(2\pi k \cdot nT_{cs}) + U_{\omega} + U^{nc} \cdot \sin(2\pi f_i \cdot nT_{cs}) + U^{nc} \cdot \sin(2\pi f_i \cdot nT_{cs})$$

$$K_r = 1 + \frac{A_r}{100 \cdot L} \cdot (e - \frac{L}{2} - 1) \quad \text{для } e = 1 \div \frac{L}{2}$$

$$K_r = 1 + \frac{A_r}{100 \cdot L} \cdot (e - \frac{L}{2}) \quad \text{для } e = (\frac{L}{2} + 1) \div L$$

$$U_{\omega} = U_i \cdot \sin[2\pi f_i \cdot (nT_{cs} + F_n)] + \sum_{i=2}^5 [U_i \cdot \sin(2\pi f_i \cdot nT_{cs})] + \sum_{i=10}^{125} U_{\omega} \cdot \sin(2\pi k \cdot nT_{cs}) + U_{\omega} + U^{nc} \cdot \sin(2\pi f_i \cdot nT_{cs}) + U^{nc} \cdot \sin(2\pi f_i \cdot nT_{cs})$$

$$F_n = \frac{F_n}{1000 \cdot L} \cdot (e - \frac{L}{2} - 1) \quad \text{для } e = (\frac{L}{2} + 1) \div L$$

$$F_n = \frac{F_n}{1000 \cdot L} \cdot (e - \frac{L}{2}) \quad \text{для } e = 1 \div \frac{L}{2}$$

$$U_n = \sum_{i=1}^{460} U_{\omega} \cdot \sin(2\pi k \cdot nT_{cs})$$

Нижеследующие формулы приведения величин, используемых в модельных сигналах, к виду аналогичному сигналам, полученным с выхода АЦП сейсмостанции "Прогресс-Л"

$$U_i = \frac{U_i^T \cdot \sqrt{2}}{Ш \cdot 10^{-6}}, \quad i = 1 \div 5$$

$$U_{\omega} = \frac{U_{\omega}^T \cdot \sqrt{2}}{Ш \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{K_r}}$$

$$U_{cm} = \frac{U_{cm}^T \cdot M}{Ш \cdot 10^{-3}}$$

$$U^{nc} = \frac{U_i^T \cdot \sqrt{2}}{K^{nc} \cdot Ш \cdot 10^{-6}}$$

$$K^{nc} = 10^{\frac{K_r}{20}}$$

$$U^{nc} = \frac{U_i^T \cdot \sqrt{2}}{K^{nc} \cdot Ш \cdot 10^{-6}}$$

$$K^{nc} = 10^{\frac{K_r}{20}}, \quad \text{где}$$

- U_i амплитуды сигналов основной частоты и ее гармоник, $i = 1 \div 5$;
- U_{ω} амплитуда каждой шумовой составляющей сигнала;
- U_{cm} величина смещения нуля;
- U^{nc} амплитуда сигнала, обусловленного взаимными влияниями между каналами записи;
- U^{nc} амплитуда синфазного сигнала;
- $Ш$ $\begin{cases} Ш = 120,29 \text{ при } \text{кус}=1 \\ Ш = 30,074 \text{ при } \text{кус}=4 \\ Ш = 7,5185 \text{ при } \text{кус}=16 \\ Ш = 1,8796 \text{ при } \text{кус}=64 \end{cases}$ величины, соответствующие цене младшего разряда мантиссы при фиксированных коэффициентах усиления сейсмостанции "ПРОГРЕСС-Л";
- f_i частота тестового сигнала в Гц, соответствующая методике испытаний Яд1.530.044ТУ на сейсмостанции "Прогресс-Л";
- U_i^T эффективные значения сигналов основной частоты и ее гармоник в мВ, соответствующие области реальных сигналов сейсмостанции "Прогресс-Л";
- U_{ω}^T среднеквадратическое значение собственных шумов канала записи в мВ, в полосе частот от 10 Гц до 125 Гц;
- U_{cm}^T напряжение смещения нуля канала записи в мВ;
- K^{nc}_T коэффициент взаимных влияний между каналами записи в дБ;
- K^{nc}_T коэффициент подавления синфазного сигнала в дБ;
- F_n фазовая неидентичность между каналами записи сейсмостанции "Прогресс-Л";
- A_n амплитудная неидентичность между каналами записи сейсмостанции "Прогресс-Л";
- K_r количество составляющих шумового сигнала;
- n номер дискретного отсчета модельного сигнала;
- L количество каналов записи сейсмостанции "Прогресс-Л";
- T_{cs} период квантования тестового сигнала, соответствующий значениям периода квантования сейсмостанции "Прогресс-Л"