

Опытно-производственные испытания кабельно-бескабельной телеметрической сейсморегистрирующей системы «СКАУТ-НТ»

■ Гнатюк А.И., Тарасов Н.В., АО «СКБ СП», г. Саратов.

В соответствии с Соглашением, заключенным между АО «СКБ СП» и Минпромторгом РФ, АО «СКБ СП» является исполнителем работ по комплексному проекту - «Разработка и производство отечественной интеллектуальной сейсморегистрирующей платформы «Сейсмосистема», предназначенной для поиска нефтяных и газовых месторождений на суше, ледовой поверхности акватории арктических морей, в транзитных и экологически чувствительных зонах» (далее сейсмосистема «СКАУТ-НТ»).

Ставилась задача поднять отечественное геофизическое приборостроение на качественно новый уровень и обеспечить ему конкурентоспособность, необходимую для реализации задачи импортозамещения в области геофизического приборостроения.

В настоящее время завершена разработка и изготовлен опытный образец «сейсмосистемы «СКАУТ-НТ», который прошел опытно-промышленные испытания на полевом проекте компании АО «Росгеология», в ходе которых полевые специалисты оценили завершенность разработки, технические характеристики и производственные возможности новой российской сейсмосистемы.

Архитектура и характеристики системы «Скаут-НТ»

Отличительной особенностью предлагаемой архитектуры «сейсмосистемы «СКАУТ-НТ» является возможность обеспечения регистрации сейсмической информации в непрерывном режиме кабельными и бескабельными каналами в одной расстановке в любых районах проведения наземных сейсморазведочных работ, включая транзитные зоны.

Новая разработка представляет собой программно-аппаратный комплекс, состоящий из следующих элементов: Центрального регистрирующего комплекса (ЦРК), блоков коммутатора линии (БКЛ), секций телеметрических 4х-канальных (СТ-4), беспроводных автономных регистраторов с внешним сейсмоприемником (БАР-1), беспроводных автономных регистраторов со встроенным сейсмоприемником (БАР-1С).

Центральный регистрирующий комплекс (ЦРК) обеспечивает выполнение следующих функций:

- управление наземным комплексом аппаратуры, его диагностику;
- прием, обработку и регистрацию сейсмической информации и результатов диагностики; формирование рапорта оператора;
- воспроизведение сейсмической информации, результатов диагностики и иной вспомогательной информации на экранах мониторов и бумажном носителе;
- контроль режима электропитания системы, переключение, при необходимости, электропитания системы в экономный режим;
- вертикальность установки сейсмоприемников;
- возможность передачи зарегистрированных сейсмоданных в Систему Контроля Качества (Система QC) полевого материала с использованием либо

кабельного канала, либо радиоканала.

• обработку в реальном времени (при наличии устойчивой связи с наземным комплексом на максимальной скорости) сейсмической информации, включая:

- редакцию импульсных помех;
- вертикальное накопление;
- взвешенное накопление;
- корреляцию до и после накопления;
- построение спектра;
- контроль параметров полевых блоков и сейсмоприемников;
- диагностику параметров наземного комплекса аппаратуры, включая:
- амплитудную неидентичность;
- фазовую неидентичность;
- коэффициент нелинейных искажений;
- взаимные влияния;
- уровень собственных шумов;
- подавление синфазного сигнала;
- значение напряжения питания;
- смещение нуля;
- сопротивление;
- изоляцию;
- импульсный тест.

Блок коммутатора линии (БКЛ) обеспечивает выполнение следующих задач:

- управление секциями (СТ-4) и беспроводными регистраторами БАР-1 и БАР-1С;
- синхронизацию работы БКЛ и подключенных к нему устройств с сигналами спутниковой навигации GPS/ГЛОНАСС;
- прием параметров или команд, поступающих из ЦРК, и их передачу в нижнюю и верхнюю ветви линии наблюдения, в которой установлен данный БКЛ и далее в БКЛ соседней линии наблюдения;
- прием сейсмоданных с нижней и верхней ветвей линии наблюдения, в которой установлен данный БКЛ;

• передачу поступивших данных по магистральной линии в ЦРК;

• регенерацию сейсмической информации при передаче данных между линиями наблюдения и в ЦРК;

• создание вспомогательной магистральной линии с целью, например, обхода препятствия, путем установки в линию дополнительного БКЛ, связанного с ЦРК;

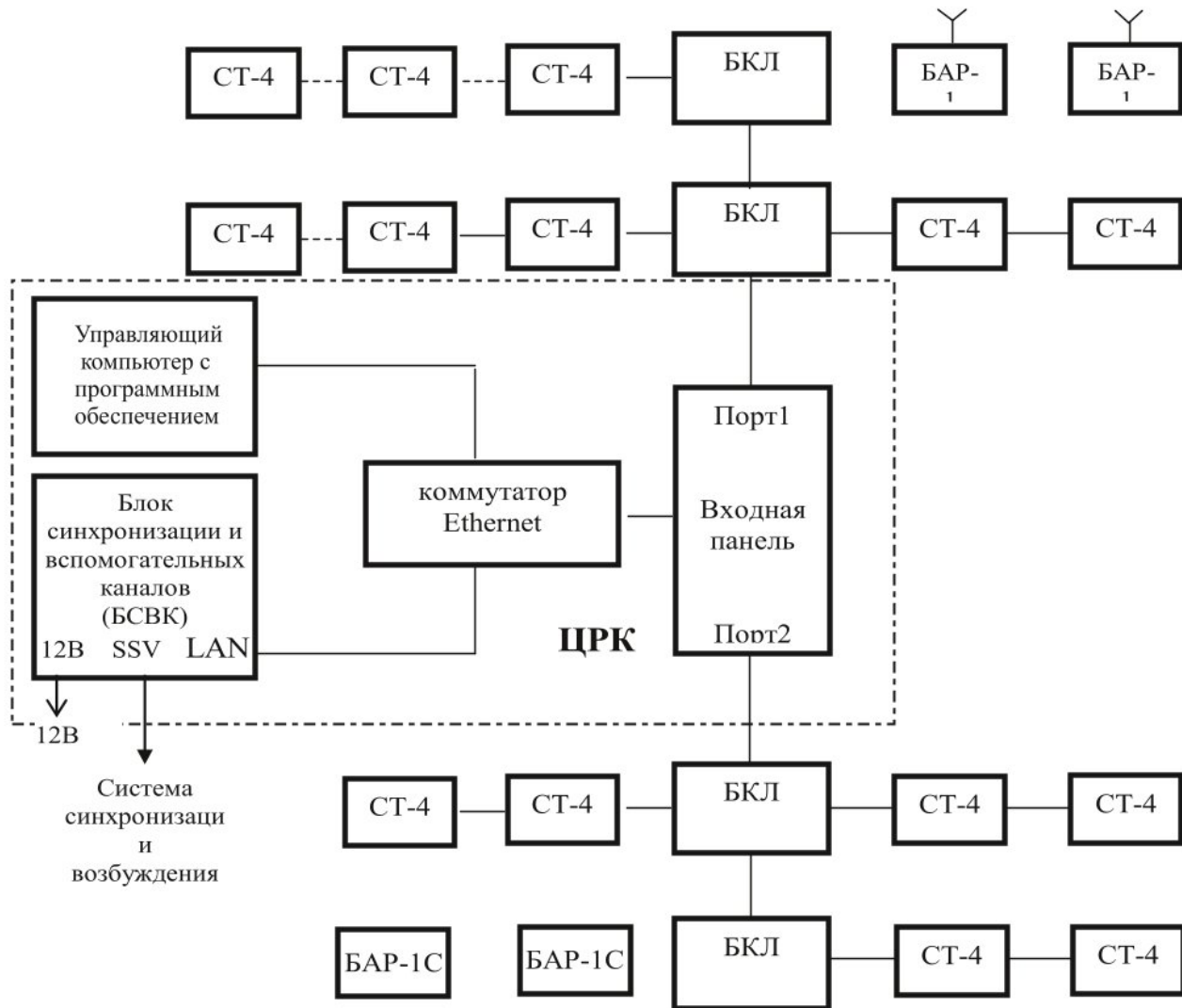
• диагностирование технического состояния подключенных к БКЛ устройств (СТ-4, БАР-1, БАР-1С) и сейсмоприемников;

• сохранение поступающей сейсмической и служебной информации во внутренней памяти блока при отсутствии или временной потере связи с ЦРК;

• передачу информации, сохраненной во внутренней памяти блока либо в мобильное устройство сбора данных (планшет) по радиоканалу, либо в ЦРК по кабельному каналу, при восстановлении прерванной связи между ЦРК и БКЛ;

Секция телеметрическая 4х-канальная (СТ-4) состоит из 4-х одноканальных устройств бора данных (УСД), последовательно соединенных между собой 4-жильным телеметрическим кабелем. Каждое УСД осуществляет усиление и преобразование входного аналогового сейсмического сигнала в цифровой 24-разрядный двоичный код. Полученные цифровые данные передаются в телеметрический канал связи. Встроенные средства диагностирования УСД формируют тестовые воздействия, необходимые для контроля его основных параметров.

Беспроводной автономный регистратор с внешним сейсмоприемником (БАР-1) осуществляет непрерывное во времени усиление поступающего на его вход



▲ Рис. 1. Структурная схема Системы телеметрической сейсморегистрирующей «СКАУТ - НТ».

аналогового сейсмического сигнала с последующим преобразованием выборок этого сигнала в цифровой 24-разрядный двоичный код. Полученные цифровые данные запоминаются в памяти БАР-1. Синхронизация процесса дискретизации входного сейсмического сигнала осуществляется с помощью GPS/ГЛОНАСС-приемника.

Встроенные средства диагностирования формируют тестовые воздействия, необходимые для контроля основных параметров БАР-1.

Беспроводной автономный регистратор со встроенным сейсмоприемником (БАР-1С) осуществляет непрерывное

преобразование колебаний геофона в аналоговый сигнал с дальнейшим преобразованием выборок этого сигнала в цифровой 24-разрядный двоичный код. Полученные цифровые данные запоминаются в памяти БАР-1С. Синхронизация процесса дискретизации входного сейсмического сигнала осуществляется с помощью GPS/ГЛОНАСС-приемника. Встроенные средства диагностирования формируют тестовые воздействия, необходимые для контроля основных параметров БАР-1С

Технические требования к УСД, входящему в секцию СТ-4 (табл. 3).

N	Наименование параметра	Значение
1	Режим сбора сейсмоданных	- в реальном времени; - пост обработка данных; - смешанный режим.
2	Тип канала обмена данными между центральной системой регистрации и наземным комплексом системы	- кабельный; - радиоканал.
3	Способы выполнения процесса регистрации сейсмоданных	- по команде; - непрерывный.
4	Максимальное число каналов в линии, 2мс	3000
5	Число телеметрических портов кабельных линий наблюдения	не менее 2
6	Максимальное число кабельных линий на один порт	32
7	Максимальное число кабельных каналов на один порт	10000
8	Шаг дискретизации	0,5; 1; 2; 4 мс
9	Тип источника сейсмического сигнала	- импульсный; - вибрационный.
10	Максимальное число суммирований	128

▲ Табл. 1. Технические характеристики сейсмосистемы «СКАУТ - НТ»

N	Наименование параметра	Значение
1	Количество подключаемых ветвей кабельных блоков сбора данных	2
2	Количество интерфейсов Ethernet подключения для создания гибкой структуры магистральных связей	3
3	Количество подключаемых внешних батарей	2
4	Радиус действия встроенного радиопередающего (WiFi) модуля	300 м
5	Диапазон напряжения питания	10.5 ... 15 В
6	Мощность потребления	7 Вт
7	Диапазон рабочих температур	-40 ... 70°C
8	Габаритные размеры	150 x 230 x 310 мм
9	Масса	не более 4,1 кг

▲ Табл. 2. Технические характеристики БКЛ.

▼ Табл. 3. Технические характеристики УСД. (Начало).

N	Наименование параметра	Значение
1	Пределы допускаемой относительной погрешности измерения напряжения входного сигнала, приведенной к его максимальному значению	$\pm 0,5 \%$
2	Пределы допускаемой относительной погрешности измерения временных интервалов	$\pm 0,0005 \%$
3	Число двоичных разрядов аналого-цифрового преобразования, включая знаковый разряд	24
4	Период дискретизации	0,5; 1; 2; 4 мс
5	Входное сопротивление	$(20 \pm 0,1) \text{ кОм}$
6	Максимальное напряжение входного сигнала	не менее 2,5В

N	Наименование параметра	Значение
7	Среднее квадратичное значение собственных шумов при максимальном усилении	не более 0,12 мкВ
8	Напряжение смещения нуля	не более 2 мкВ
9	Коэффициент подавления синфазного сигнала	не менее 96 дБ
10	Коэффициент нелинейных искажений	не более 0.0005%
11	Мощность потребления	не более 200 мВт
12	Класс защиты	IP68
13	Диапазон рабочих температур	-40...70°C

▲ Табл. 3. Технические характеристики УСД. (Окончание).

▼ Табл. 4. Технические характеристики БАР-1 с внешним геофоном.

N	Наименование параметра	Значение
1	Пределы допускаемой относительной погрешности измерения напряжения входного сигнала, приведенной к его максимальному значению	$\pm 0,3 \%$
2	Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения временного интервала	$\pm 0,00001\%$
3	Число каналов	1
4	Число двоичных разрядов аналого-цифрового преобразования, включая знаковый разряд	24
5	Период дискретизации	0.25, 0,5; 1; 2; 4 мс
6	Входное сопротивление	$(19,9 \pm 0,1) \text{ кОм}$
7	Максимальное напряжение входного сигнала	не менее 2,5В
8	Среднее квадратичное значение собственных шумов при максимальном усилении	не более 0,12 мкВ
9	Коэффициент подавления синфазного сигнала	не менее 100 дБ
10	Коэффициент нелинейных искажений	не более 0.00035%
11	Продолжительность непрерывной работы регистратора от встроенной аккумуляторной батареи	не менее 600 часов
12	Класс защиты	IP68
13	Диапазон рабочих температур	-40...60°C
14	Габаритные размеры	не более 170 x 158 x 119 мм
15	Масса	не более 2,1 кг

▼ Табл. 5. Технические характеристики БАР-1С со встроенным геофоном.

N	Наименование параметра	Значение
1	Пределы допускаемой относительной погрешности измерения напряжения входного сигнала, приведенной к его максимальному значению	$\pm 0,3 \%$
2	Пределы допускаемой относительной погрешности измерения временного интервала	$\pm 0,00001\%$
3	Число каналов	1
4	Число двоичных разрядов аналого-цифрового преобразования, включая знаковый разряд	24
5	Период дискретизации	0.25, 0,5; 1; 2; 4 мс
6	Входное сопротивление	$(20 \pm 0,1) \text{ кОм}$
7	Максимальное напряжение входного сигнала	не менее 2,5В
8	Среднее квадратичное значение собственных шумов при максимальном коэффициенте усиления	не более 0,12 мкВ
9	Коэффициент подавления синфазного сигнала	не менее 96 дБ
10	Коэффициент нелинейных искажений	не более 0.0005%
11	Сопротивление сейсмоприемника	$(2,45 \pm 0,12) \text{ кОм}$
12	Степень затухания собственных колебаний сейсмоприемника	(0.7 ± 0.12) .
13	Собственная частота сейсмоприемника	$(5 \pm 0.5) \text{ Гц}$.
14	Коэффициент преобразования сейсмоприемника	$(89.4 \pm 8.9) \text{ В/м/с}$.
15	Коэффициент нелинейных искажений сейсмоприемника	не более 0.1 %.
16	Продолжительность непрерывной работы регистратора от встроенной аккумуляторной батареи: емкостью 15 А/ч емкостью 20 А/ч	не менее 720 часов не менее 840 часов
17	Класс защиты	IP68
18	Диапазон рабочих температур	-40...60°C
19	Габаритные размеры	не более 110 x 110 x 218 мм
20	Масса	не более 1,3 кг

Полевые опытно-промышленные испытания системы «СКАУТ-НТ»

В соответствии с соглашением между Акционерным обществом «Росгеология» и Акционерным обществом «Специальное конструкторское бюро сейсмического приборостроения» о развитии долгосрочных отношений в части создания и испытания отечественного кабельно-бескабельного сейсморегистрирующего комплекса и другого сопутствующего

оборудования, предназначенных для проведения сейсморазведочных работ на суше, в транзитной зоне и континентальном шельфе Российской Федерации с использованием современных технологий и материалов было принято решение о проведении полевых испытаний сейсмосистемы «СКАУТ-НТ» в реальном режиме регистрации геофизической информации в сеймопартии АО «Росгеология».

Для организации расстановки при проведении полевых испытаний использовано следующее оборудование:

1. Модули СТ-4 на 1600 каналов (400 секций по 4 канала с шагом 55м между каналами)

2. Блок коммутатора линии БКЛ-42 шт., включая 5 шт БКЛ с двойной внешней антенной для приёма информации от блоков БАР.

3. Блок синхронизации и вспомогательных каналов (БСВК)-1 шт.

4. Беспроводной автономный регистратор с внешней антенной БАР-1- 400 шт.

5. Беспроводной автономный регистратор со встроенным геофоном БАР-1С- 100 шт.

6. Оптоволоконная секция длиной 330м-14 шт.

7. Кабель для подключения АКБ к БКЛ с зажимами типа «крокодил»- 45 шт.

8. Аппаратура центрального регистрирующего комплекса (ЦРК) с активной входной панелью-1 шт.

9. Коммутатор Ethernet -1 шт.

10. Планшеты -2 шт

11. Панель заряда и считывания на 12 БАР-1С. 1 шт.

12. Устройство зарядное для БАР -1 - 1 шт

Целью испытаний являлась оценка соответствия технических характеристик сейсмосистемы «СКАУТ-НТ» заявленным в техническом задании на разработку, а также в процессе полевых испытаний проводилось сопоставление результатов с кабельной сейсмосистемой 428XL.

На первом этапе проводилось тестирование параметров и характеристик

сейсмосистемы «СКАУТ-НТ» по параметрам, указанным в таблицах. По результатам тестов отклонений от заявленных характеристик не выявлено. Форматы текстовых файлов результатов тестирования признаны удовлетворительными. Есть легко устранимые замечания по удобству представления результатов тестирования для оператора. Формат данных соответствует международному формату SEG-D-2.08058.

На испытания было предоставлено 1600 кабельных каналов в одну линию при максимально возможном расчетном подключении 2500 каналов. Фиксация скорости передачи данных проводилась в режиме записи для импульсного и вибрационного источников при шаге дискретизации 1мс и 2 мс.

При подключении в линию 1584 каналов на одну ветвь от БКЛ время передачи данных с дальних каналов при 4 секундной записи и импульсном режиме составило 18с, а при расстановке 3D время опроса каналов было значительно меньше, что свидетельствует о том, что основное время уходит на передачу данных по линиям, а время сбора данных с линий и их передача в ЦРК вносит меньший вклад в суммарное время цикла. То есть длительное время сбора информации при «длинной» расстановке накладывает ограничения на производительность работ при реализации сложных конфигураций расстановки и исключает возможность контроля качества записи в реальном времени.

Следовательно, требуется оптимизация алгоритма опроса УСД с целью сокра-



▲ Рис. 2. Оборудование «Сейсмосистемы СКАУТ-НТ» на площади испытаний.

щения времени передачи данных в ЦРК.

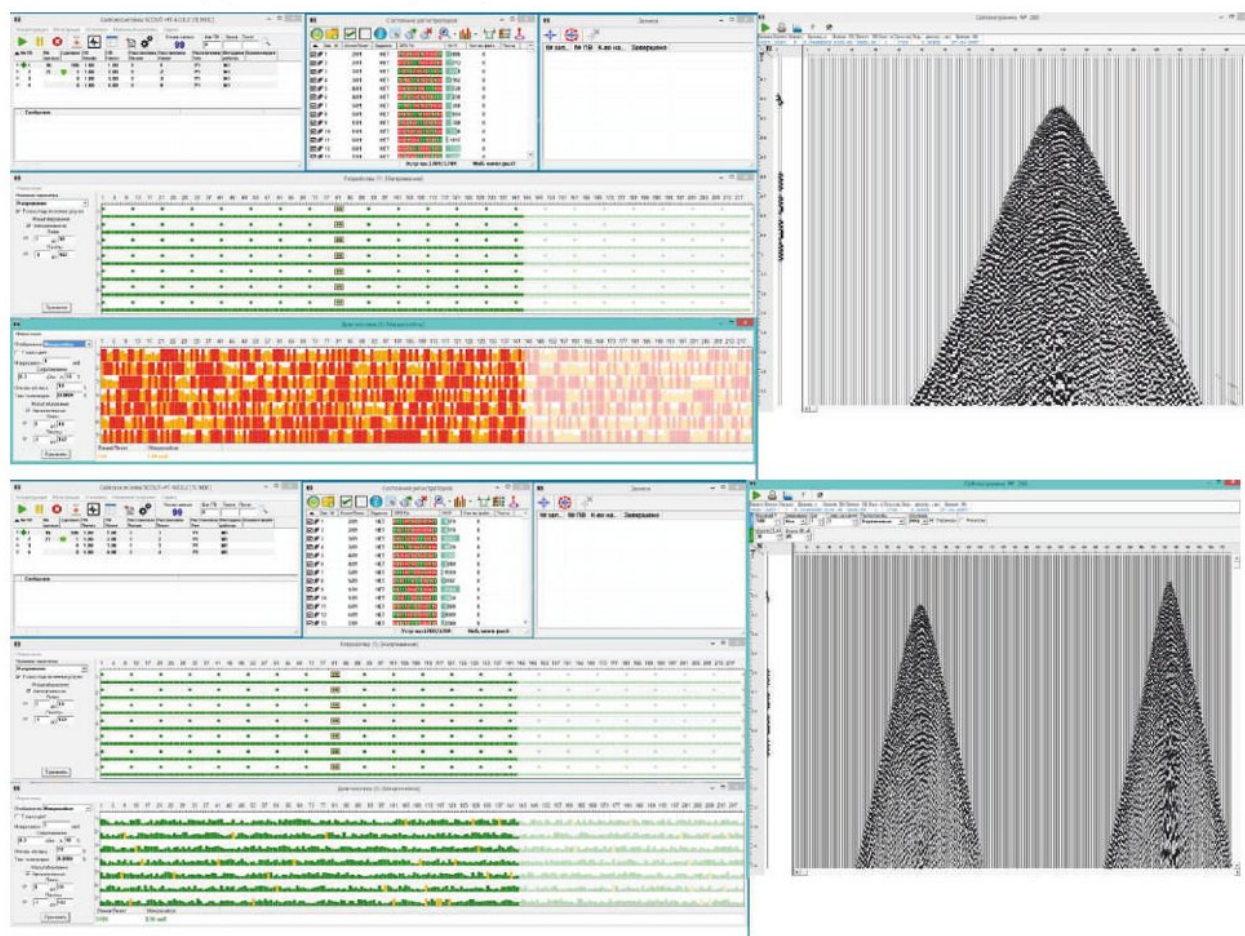
Также по рекомендации пользователей целесообразно внести в этикетку формата результаты последнего тестирования каналов.

Регистрация данных в производственном режиме.

Представленная на испытании сейсмосистема «СКАУТ-НТ» была проверена в производственном режиме на 2D профиле в пределах участка работ. При производстве работ были задействованы все типы приемных регистрирующих устройств тестируемого сейсморазведочного комплекса.

Регистрация проводилась одновременно на кабельную систему сбора УСД, автономные модули БАР-1 с внутренней и внешней Wi-Fi антеннами, БАР-1С и кабельную систему Sercel428 с подключенными одиночными геофонами. Длина расстановки - 10800 м. Блоки БАР-

▼ Рис. 3. Интерфейс окна оператора «Сейсмосистемы».



1,оснащенные радиомодулем, работали в автономном режиме без передачи данных по радиоканалу.

Регистрация проводилась в ветреную погоду (16 - 20м/с) при температуре + 12-+14°C. Для уменьшения влияния на запись шумов одиночные геофоны закапывались в грунт на глубину 40-50см. Автономные модули БАР-1С заглублялись таким образом, чтобы антенна GPS была на поверхности.

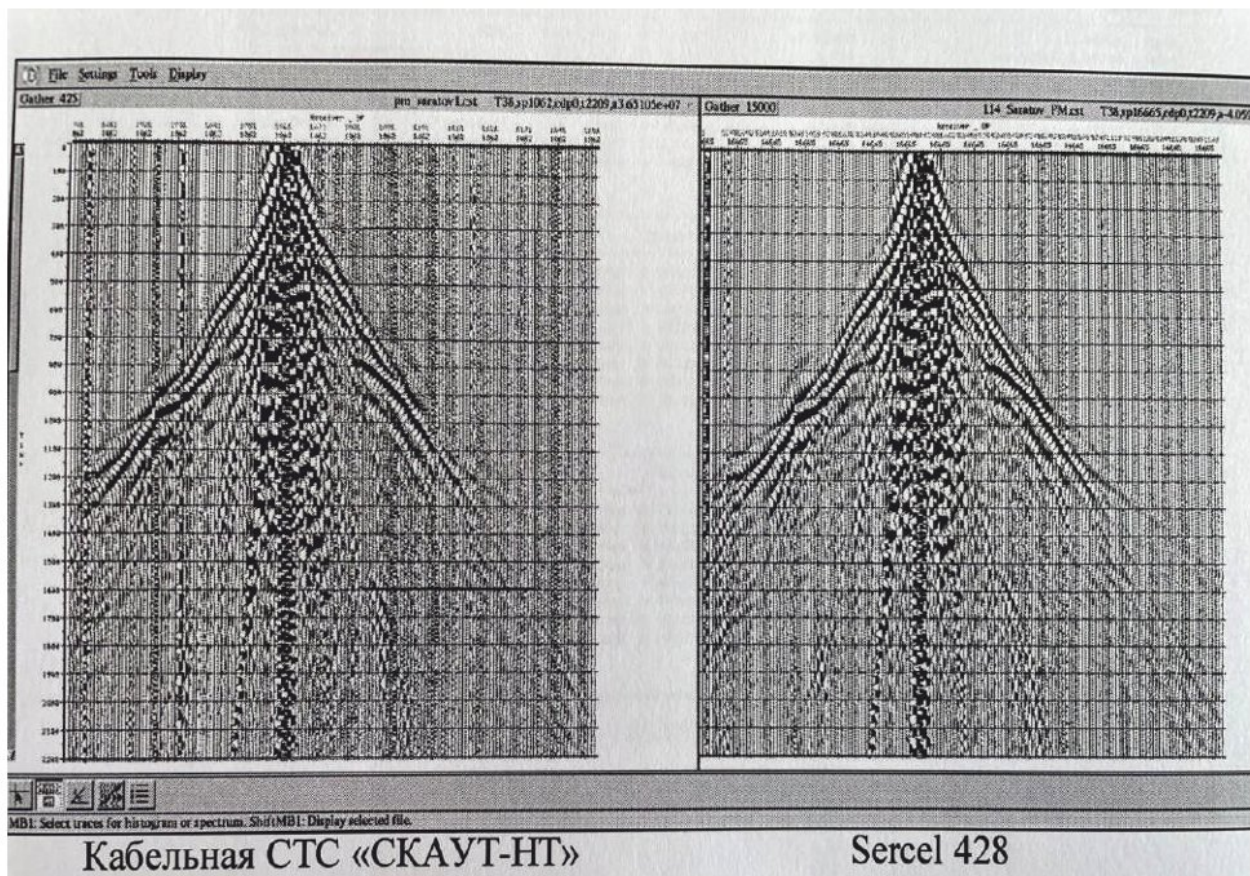
Основные технико-методические параметры ОПИ

Система наблюдения	центральная симметричная
Количество активных каналов	180
Шаг ПВ/ПП, м	50
Период дискретизации, мс	2
Длина записи, с	6
Тип источника	Nomad-65



▲ Рис. 4. Сопоставление системы «СКАУТ-НТ» проходило с оборудованием Sercel SN428.

▼ Рис. 5. Сопоставление сейсмических данных, зарегистрированных различными станциями.



Количество источников в группе	3
Начальная частота свип-сигнала, Гц	6
Конечная частота свип-сигнала, Гц	96
Длительность свип-сигнала, с	12
Количество воздействий на ПВ	4
Всего зарегистрировано	155ф.н.

Полученные результаты, представленные на рисунке 5, свидетельствуют об идентичности материала, записанного системами «СКАУТ-НТ» и Sercel SN428. Спектры, полученные по реальным сейсмограммам, записанным обеими сейсмосистемами, имеют достаточную сходимость по частотам и амплитудам сигналов.

Выводы и рекомендации

1. С целью сокращения времени передачи данных в ЦРК, формирования файла SEGД, его визуализации и оценки качества необходимо оптимизировать алгоритм опроса модулей УСД.
2. Исключить переформирование и перезапись файлов SEGД при изменении типа процесса регистрации.
3. Реализовать в приложении «Сейсмомонитор» цветокодированную визуализацию уровня регистрируемого

УСД сигнала.

4. Реализовать цветокодированную визуализацию и статистический анализ (процент удовлетворительных / неудовлетворительных результатов) инструментальных и сенсорных тестов.
5. Реализовать запись результатов тестов в этикетку формата SEGД.
6. В заголовки файла SEGД производственной сейсмической записи внести информацию о результатах последних произведенных тестов.
7. Предусмотреть фиксацию в протоколе работы (рапорте) даты и времени КОМ и даты и времени формирования файла SEGД.
8. Реализовать формирование сейсмограмм ОПП при выгрузке данных из автономных модулей БАР-1.
9. Реализовать привязку модулей БАР-1 к линии/пикету приема на основе данных позиционирования по GPS.

После доработки алгоритмических, программных и технических недочетов кабельно-бескабельный комплекс СТС «СКАУТ-НТ» может быть рекомендован к промышленному применению.

Выражаем благодарность сотрудникам сейсморпартии АО «Волгограднефтегеофизика» за добросовестное и оперативное выполнение работ по обеспечению испытаний сейсмосистемы «СКАУТ-НТ». Особая благодарность руководителю сектора Дирекции геофизических работ АО «Росгео» Трофимову Алексею Владимировичу за объективное отношение к проведению испытаний и составлению информационного отчёта по Опытно-производственным испытаниям кабельно-бескабельной телеметрической сейсморегистрирующей системы «Скаут-НТ», которые выполнялись по программе испытаний утверждённой вице-президентом, директором по геофизическим работам АО «Росгео» Зариповым Салаватом Мияссаровичем.

Подробнее об авторах



Гнатьюк Александр Иванович
главный конструктор
СКБ СП.
Автор нескольких изобретений и технических публикаций.
Почётный нефтяник РФ.



Тарасов Николай Васильевич
исполнительный
директор АО «СКБ СП»,
к.т.н.
Почётный работник ТЭК
и автор нескольких изобретений
и публикаций.