

## Цифровая твердотельная буксируемая сейсмокоса малого диаметра для морской инженерной сейсморазведки

Г. А. Максимов,\* Д. Н. Денисов, В. А. Ларичев, Д. Н. Лесонен, А. Г. Григорьев, З. А. Корольков

АО «Акустический институт имени академика Н. Н. Андреева»

Россия, 117036, Москва, ул. Шверника, д. 4

(Статья поступила 11.07.2017; Подписана в печать 13.09.2017)

В докладе приводятся сведения о цифровой твердотельной буксируемой сейсмокосе малого диаметра для морской инженерной сейсморазведки, разработанной в АО «Акустический институт имени Н. Н. Андреева». Разработанное оборудование прошло проверку в реальном коммерческом проекте на шельфе Карского моря, зарекомендовало себя как удобное средство во время эксплуатации и позволило получить геофизические данные кондиционного качества.

PACS: 43.30.Vh

УДК: 534.6

Ключевые слова: шельф, морская сейсмоакустическая разведка, цифровая твердотельная буксируемой сейсмокоса.

### ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на меняющуюся конъюнктуру цен на углеводородное сырье, освоение шельфовых месторождений углеводородов по-прежнему остается наиболее перспективным источником восполнения их запасов, особенно в долгосрочной перспективе. Наличие санкций делает необходимой разработку и создание отечественных средств морской сейсморазведки. В связи с этим возникает потребность в разработке систем для сейсмоакустических исследований, которые будут компактны, мобильны, легко развёртываемы и могут эксплуатироваться без использования специализированных крупногабаритных судов. В данной работе речь пойдет о подобной системе, которая была разработана АО «Акустический институт им. Н. Н. Андреева» и задействована в инженерно-геофизических исследованиях на шельфе Карского моря в 2016 г.

## 1. ЦИФРОВАЯ ТВЕРДОТЕЛЬНАЯ БУКСИРУЕМАЯ СЕЙСМОКОСА

### 1.1. Основные характеристики

В АО «Акустический институт им. Н. Н. Андреева» была разработана и создана цифровая секционная твердотельная буксируемая сейсмокоса. Реализовано три вида секций: длиной 500 м, 250 м, 50 м (рис. 1, а, б). Число датчиков в каждом виде секций — 50. Расстояние между датчиками 10, 5 и 1 м, соответственно. Секционность обеспечивает большую гибкость в конфигурировании системы под каждую конкретную задачу.

Секции длиной 250 и 50 м разработаны для однократного использования в задачах морской инженерной сейсморазведки. Секции длиной 500 м разработаны

для 2D и 3D сейсморазведки. За счет последовательного добавления секций можно регулировать длину одной линейной антенны. Секции можно соединять параллельно, тем самым формируя систему для 3D сейсморазведки. Использование твердотельного исполнения вместо маслonaполненного позволило существенным образом снизить массу и размеры секции. Масса одной секции длиной 500 м не превышает 100 кг, что позволяет производить ее развёртывание без привлечения специальной техники. Диаметр кабеля составляет 15 мм, а диаметр датчика не превышает 25 мм. Каждый датчик является цифровым гидрофоном на пьезокерамической основе. Регистрируемый сигнал оцифровывается каждым датчиком и передается по электронной либо оптоволоконной линии, в зависимости от исполнения. Частота оцифровки составляет 4 кГц, разрядность АЦП — 24 бита. Секции герметично соединяются между собой с помощью электрооптических модулей. Рабочий диапазон датчика расположен в интервале частот от 3 Гц до 2 кГц. Основные технические параметры оборудования приведены в табл. 1.

Таблица 1: Технические характеристики оборудования

Характеристика	Значение
Длина секций, м	50, 250, 500
Число датчиков в секции, шт	50
Шаг между датчиками, м	1, 5, 10
Тип датчика	гидрофон
Чувствительность датчика, мВ/Па	0.75
Полоса регистрируемых частот, Гц	3-2000
Разрядность АЦП, бит	24
Частота дискретизации, кГц	4
Формат записи данных	.sgy

\*E-mail: gamaximov@mail.ru

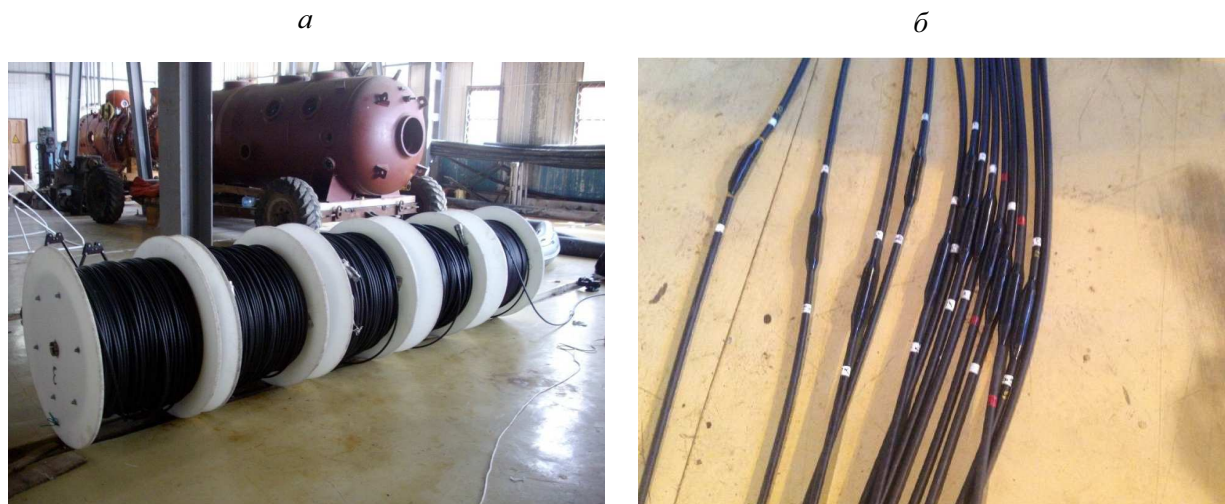


Рис. 1: Секции твердотельной буксируемой сейсмокоды — а, и цифровые датчики сейсмокоды — б

### 1.2. Позиционирование

Для улучшения качества и контроля сейсмоакустических работ в ходе буксировки антенн необходимо определять положение каждого принимающего датчика. Решение данной задачи было осуществлено следующим способом. По поверхности за судном буксируются несколько идентичных комплексов ультразвукового позиционирования. Каждый комплекс состоит из высокочастотного акустического излучателя, опущенного в воду и системы спутниковой навигации GPS и Глонасс для определения точного положения комплекса. Каждый комплекс периодически излучает ультразвуковой акустический сигнал в диапазоне частот 28–32 кГц. Между собой комплексы точно синхронизованы по времени с помощью спутниковой навигации. Излучение происходит не одновременно, а по очереди. В каждый датчик сейсмокоды встроен дополнительный высокочастотный звуковой канал для регистрации сигнала, излучаемого комплексами. На основе относительных задержек ультразвуковых сигналов, регистрируемых датчиками, решается обратная задача и восстанавливается положение датчиков с учетом неточности знания положения источников. Точность позиционирования в горизонтальной плоскости, достигаемая с помощью данного метода, составляет порядка 30 см. Результаты позиционирования по глубине не так однозначны и точны в силу специфики геометрии расположения излучателей и приемников. В следующих реализациях системы позиционирования планируется определять глубину приемников с помощью дополнительного датчика глубины.

## 2. ИНЖЕНЕРНО–ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ШЕЛЬФЕ КАРСКОГО МОРЯ В 2016 г.

В октябре–ноябре 2016 г. оборудование в составе двух сейсмокоды длиной 250 и 50 м было использо-

вано в ходе проведения сопутствующих рекогносцировочных инженерно–геофизических исследований на шельфе Карского моря, которые научная компания ООО «Сплит» выполняла в рамках тендера ПАО «Роснефть». Было отработано 933.35 пог. км сейсмической съемки. Был получен геофизический материал кондиционного качества, позволяющий решить поставленную сейсмогеологическую задачу. Пример фрагмента сейсмограммы общего удаления, полученного в ходе работы на одном из профилей, приведен на рис. 2.

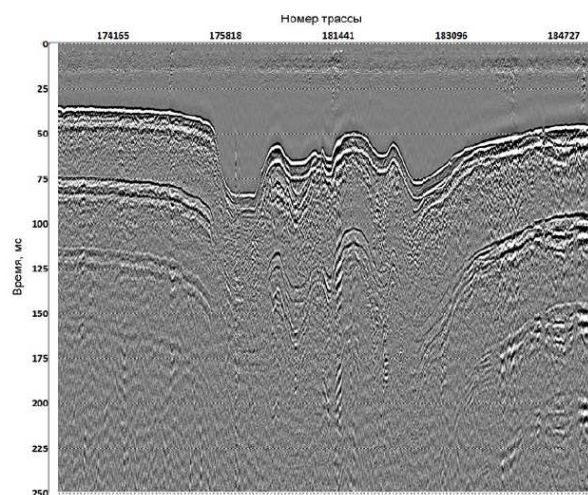


Рис. 2: Фрагмент сейсмограммы общего удаления, полученный в ходе работ на одном из профилей на участке шельфа Карского моря

Сейсмокода использовалась в режиме приповерхностной буксировки. В качестве излучателя использовался электро-искровой источник типа «Спаркер». Центральная частота излучения находилась в диапазоне 300–700 Гц. Глубина буксировки поддерживалась равной четверти длины волны, чтобы обеспечить

максимум конструктивной интерференции отраженной волны и ее спутника в области датчика. Целью работ являлся сбор данных для изучения регионального геологического строения верхней части разреза на участках Карского моря. Глубина исследования составила не менее 150 м с разрешающей способностью метода по вертикали не хуже 2–3 м, при условии наличия акустически проницаемых грунтов.

В процессе эксплуатации разработанное оборудование показало себя удобным средством для проведения морской инженерной сейсморазведки. Данные, полученные при помощи сейсмокоды пригодны к дальнейшей камеральной обработке. Динамический диапазон, уровень шумов и полоса пропускания оборудования соответствуют требованиям, предъявляемым к аналогичному оборудованию, которое используется для морской инженерно-геофизической съемки. Выбранный шаг между каналами и длина сейсмокоды позволяют использовать полученные данные для проведения скоростного анализа и дальнейшего изучения физико-механических свойств грунтов верхней части разреза.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В конструкции сейсмокоды реализовано несколько важных инженерных и технологических решений, ориентированных на запросы нефтегазовой отрасли. Использование твердотельной коды в кабельном исполнении позволяет снять все вопросы, обусловленные экологическими аспектами, возникающими при использовании маслonaполненных сейсмокод на акваториях. Вес сейсмокоды существенно снижен за счет использования твердотельного кабеля малого диаметра и цифрового формата передачи данных, требующего меньшего количества жил в кабеле при работе многоканальной антенны.

Разработанное оборудование прошло проверку в реальном коммерческом проекте на шельфе Карского моря, зарекомендовало себя как удобное средство во время эксплуатации и позволило получить геофизические данные кондиционного качества.

---

## Digital solid seismic streamer of a small diameter for the marine engineering seismic exploration

G. A. Maximov<sup>a</sup>, D. M. Denisov, V. A. Larichev, D. N. Lesonen, A. G. Grigor'ev, Z. A. Korolkov

*Andreyev Acoustic Institute. Moscow, 117036, Russia*

*E-mail: <sup>a</sup>gamaximov@mail.ru*

The report presents information about the digital solid streamer of small diameter for the marine engineering seismic exploration developed by N. N. Andreev Acoustic Institute. The developed equipment has been tested in a real commercial project on the shelf of the Kara sea. It has recommended itself as a handy tool during operation and it allowed to obtain the geophysical data of required quality.

PACS: 43.30.Vh

*Keywords:* see shelf, marine engineerig seismic exploration, digital solid streamer.

*Received 11 July 2017.*

### Сведения об авторах

1. Максимов Герман Адольфович — доктор физ.-мат. наук, нач. отдела; e-mail: gamaximov@mail.ru.
2. Денисов Дмитрий Михайлович — ст. науч. сотрудник.
3. Ларичев Владимир Андреевич — к.ф. м.н., вед. науч. сотрудник.
4. Лесонен Дмитрий Николаевич — ст. науч. сотрудник.
5. Григорьев Альберт Генрихович — мл. науч. сотрудник.
6. Корольков Захар Александрович — мл. науч. сотрудник.