

ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ МОРСКОЙ ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС СЕЙСМОРАЗВЕДКИ С ГЕЛЕНАПОЛНЕННОЙ СЕЙСМОКОСОЙ

Демьянюк Дмитрий Николаевич, зам. начальника НПО АО «Концерн «Океанприбор».

Ермошкин Дмитрий Семенович, начальник НПО АО «Концерн «Океанприбор».

Мартынов Кирилл Геннадьевич, начальник сектора АО «Концерн «Океанприбор».

Щекотихин Николай Иванович, к.т.н., ст. научный сотрудник, вед. инженер АО «Концерн «Океанприбор».

Аннотация. В статье приведены результаты экспериментальных исследований отечественного предсерийного образца морского геофизического комплекса (МГК) с геленаполненной сейсмокосой и источниками упругих колебаний. В предсерийном образце морского геофизического комплекса с геленаполненной сейсмокосой, изготовителем которого является АО «Концерн «Океанприбор», реализованы передовые научные достижения и технические решения, позволяющие проводить сейсморазведочные работы по 2D и 3D технологиям. В ходе морских экспериментальных исследований были проведены расширенные акустические испытания МГК в заданном диапазоне скоростей и глубин буксировки, в части исследования структуры помех в приемных каналах приборных секций при буксировке сейсмокосы. Произведена оценка уровня шумов на всех приемных группах приборных секций. Осуществлена оценка качества зарегистрированной акустической информации, целостность полученных данных, а также количество потерь данных в пределах каждой трассы.

Результаты экспериментальных исследований показали, что технические характеристики разработанного отечественного предсерийного образца морского геофизического комплекса с геленаполненной сейсмокосой и источниками упругих колебаний соответствуют современным требованиям и стандартам отрасли.

Ключевые слова: сейсмотрасса, сейсмокоса, сейсморазведка, акустическая информация, геологоразведка.

ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе проведения геолого-геофизических работ на морском шельфе с целью поиска углеводородов большое значение имеют морские геофизические комплексы с геленаполненными сейсмокосами.

Основными производителями подобного сейсмического оборудования являются иностранные поставщики, например, французская компания Sercel, которая занимает 60–70 % мирового рынка сейсмокос. На сегодняшний день с учетом введенных санкций странами Запада основные изготовители данного оборудования прекратили продажу и поставки в Российскую Федерацию сейсмического оборудования.

В связи с этим появилась острая необходимость в импортозамещении геофизического сейсмического оборудования. Одной из важнейших задач в рамках

Государственной программы «Развитие судостроения и техники для освоения шельфовых месторождений» является разработка и изготовление отечественного морского геофизического комплекса [1].

На сегодняшний день множество российских компаний, в том числе АО «Концерн «Океанприбор», АО «АКИН» и другие решают проблемы разработки отечественного геофизического оборудования.

АО «Концерн «Океанприбор» в рамках указанной программы выполняет работы по государственному контракту № 19411.1810190019.09.007 от 28.10.2019 г. на ОКР «Разработка промышленной технологии и изготовление первого серийного образца морского геофизического комплекса с геленаполненной буксиримой сейсмокосой и источниками упругих колебаний».

Согласно техническому заданию к государственному контракту Концерн разработал и изготовил экспериментальный (предсерийный) образец мор-

НАИМЕНОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК	SERCEL, ФРАНЦИЯ, SEAL SENTINEL MS	WESTERN GECO, США Q-MARINE	ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ОБРАЗЕЦ МГК
Расстояние между группами приемников, м	12,5	3,125	12,5; (3,125)
Групп на секцию	12	32	8
Рабочая/Предельная глубина, м	500/400	500/1000	400/750
Гидрофонов на группу	8	1	8
Чувствительность группы, В/бар	19,73	6,83*	18
Длина секции, м Скорость буксировки, узлы	150 до 6	100 до 6	100(25) до 6
Диаметр секции, мм	59,5	48	59
Рабочая нагрузка, кН	90	100	90
Рабочая температура	-10/+50	-10/+50	-10/+50
Максимальная длина, м/число каналов	До 15 750/1260	- / до 80000	12000/960

Таблица 1. Технические характеристики отечественного образца МГК и зарубежных аналогов.
* Чувствительность одного гидрофона. Цифровое формирование группы происходит на борту судна.

ского геофизического комплекса с геленаполненной буксиримой сейсмокосой и источниками упругих колебаний [2].

Натурные испытания предсерийного образца МГК с геленаполненной буксиримой сейсмокосой и источниками упругих колебаний были проведены осенью 2024 года в акватории Финского залива Балтийского моря с привлечением научно-исследовательского судна «Академик Иоффе».

Основными задачами натурных испытаний являлись:

а) Экспериментальная проверка предсерийного образца МГК на соответствие требованиям технического задания на ОКР «Разработка промышленной технологии и изготовление первого серийного образца морского геофизического комплекса с геленаполненной буксиримой сейсмокосой и источниками упругих колебаний».

б) Расширенные акустические испытания МГК в

заданном диапазоне скоростей и глубин буксировки, в части исследования структуры помех в приемных каналах приборных секций при буксировке сейсмокосы.

в) Проверка соответствия техническим требованиям уровня шумов на всех приемных группах приборных секций с учетом их расположения.

Стоит отметить, что подобные испытания в РФ были проведены впервые. Основной задачей вышеуказанных испытаний являлось подтверждение работоспособности разрабатываемого отечественного образца и его соответствие мировым аналогам.

В таблице 1 приведены технические характеристики отечественного образца МГК и зарубежных аналогов. Сравнительный анализ технических характеристик показывает, что отечественный образец МГК соответствует зарубежным аналогам.

Каналы и все приборные секции показали надежное функционирование. Разработанные приборные



Рисунок 1. Предсерийный образец МГК в процессе проведения испытаний

секции целесообразно использовать при изготовлении серийного образца МГК.

На рисунке 1 представлен предсерийный образец МГК в процессе проведения испытаний.

Морской геофизический комплекс с геленаполненной буксируемой сейсмокозой и источниками упругих колебаний предназначен для проведения 2D и 3D-сейсморазведочных работ на шельфе и в транзитной зоне для решения широкого круга геологических задач, в том числе для поиска и разведки месторождений углеводородного сырья. Для этого используется излучение низкочастотного акустического сигнала от источника упругих колебаний (ИУК) в широком диапазоне. По результатам отражения этого сигнала от геологических слоев

после его приема приборными секциями сейсмокозы получают данные сейсморазведки.

МГК должен обеспечивать выполнение следующих функций:

- визуализацию и контроль качества получаемых сейсмических данных;
- прием и регистрацию сейсмических данных от сейсмокозы;
- информационное взаимодействие с судовой навигационной аппаратурой и аппаратурой обработки сейсмоакустической информации.
- формирование электропитания сейсмокозы;
- формирование электропитания составных частей МГК.

Состав экспериментального (предсерийного) образца МГК:

Бортное оборудование:

- Комплекс средств управления и регистрации акустической информации (СУРА)[3];
- Аппаратно-программный комплекс визуализации и контроля качества сейсмических данных (АПК ВКК СД) [4].

Забортное оборудование:

- Секция грузовая - 2 шт. (применялось два варианта конструкции грузовых секций: с полиуретановыми ленточными обтекателями по длине кабеля и без них. В данных вариантах оценивалось влияние конструктивного решения по шумоподавлению на качество полученного сигнала.);
- Демпфер приборный - 2 шт.;

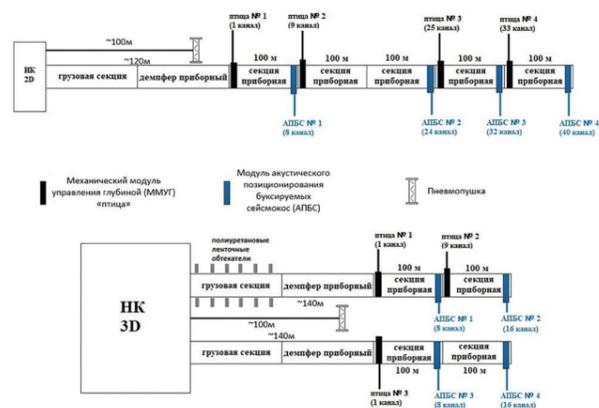


Рисунок 2. Схема буксировки

- Секция приборная - 5 шт.;
- Источник упругих колебаний(ИУК);
- Механические модули управления глубиной (ММУГ, «птица») - 4 шт.;
- Модули акустического позиционирования буксируемых сейсмокоз (АПБС) - 4 шт.

Схема буксировки предсерийного образца в процессе проведения испытаний приведена на рисунке 2.

В процессе проведения эксперимента было использовано несколько конфигураций забортного оборудования (рисунок 2):

1. По центру кормы буксировался испытываемый экспериментальный предсерийный образец сейсмокозы, рядом выводился пневмоисточник(2D технология).
2. По правому и левому бортам судна буксировались две линии испытываемого экспериментального предсерийного образца сейсмокозы, по центру кормы — пневмоисточник(3D технология).

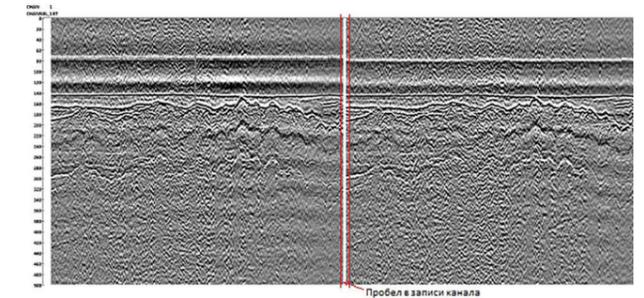
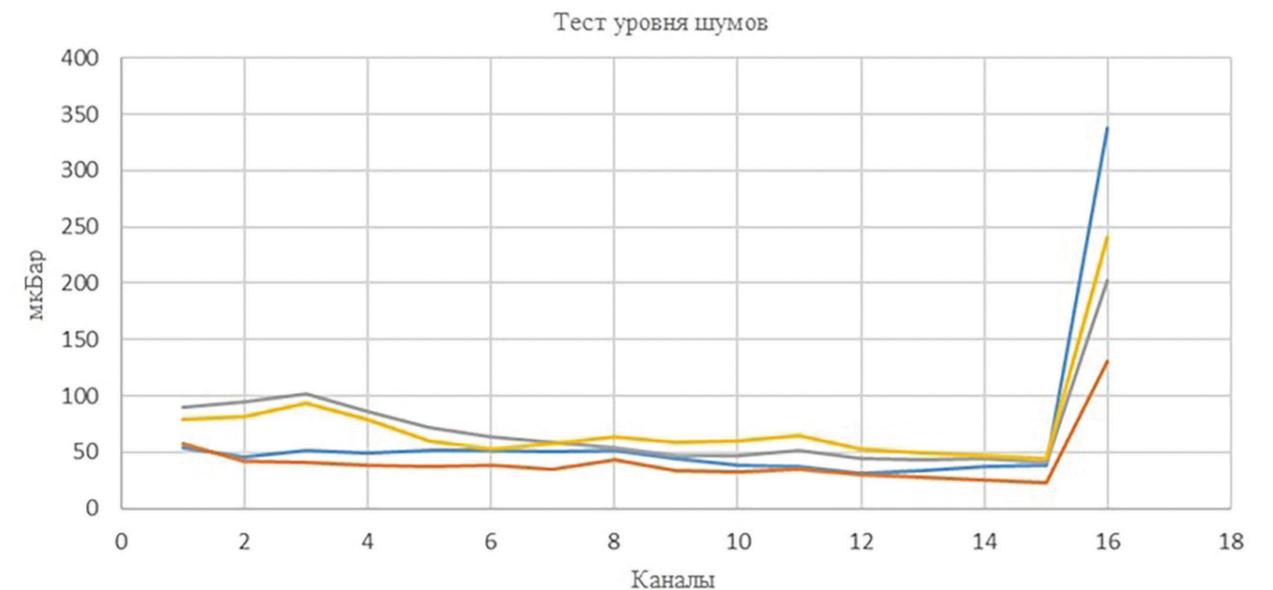


Рисунок 3. Сейсмограммы при работе с двумя параллельными сейсмокозами

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ПОЛУЧЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ [5]

На рисунке 3 приведены сейсмограммы полученных в процессе испытаний при экспериментальных исследованиях с двумя сейсмокозами.

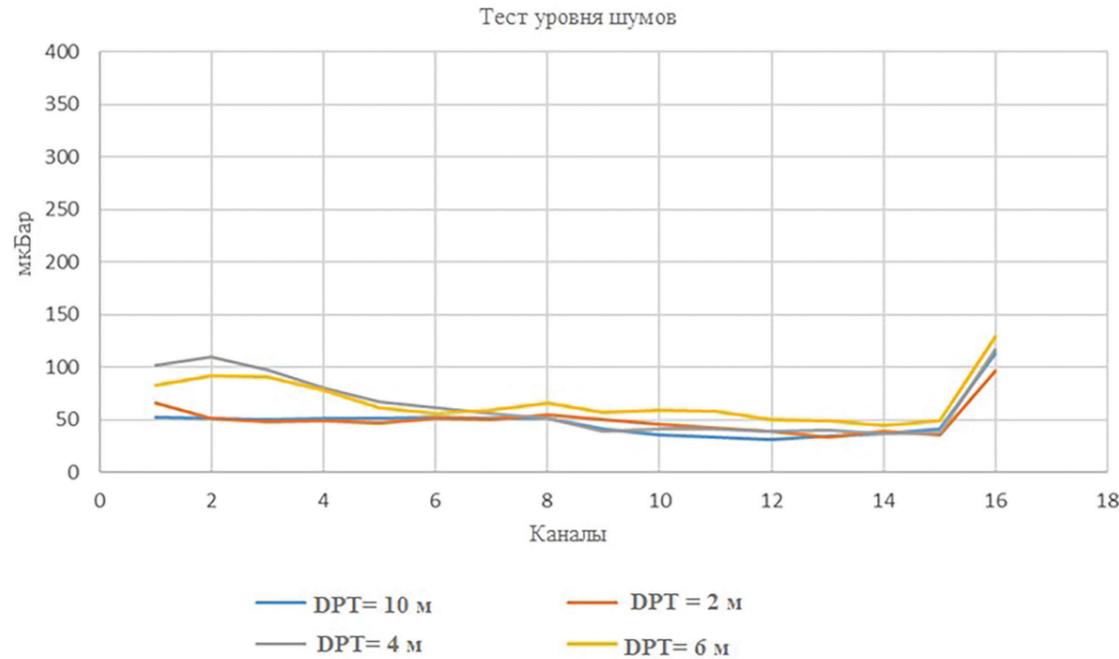
На сейсмограмме виден пробел в записи первого канала первой сейсмокозы (слева), в этом месте по-



- DPT=10 м
- DPT=4 м
- DPT=2 м
- DPT=6 м

Шум, мкБар	Мин	Сред	Макс
DPT = 2М	44.34	190.84	337.01
DPT = 4М	40.80	140.28	240.29
DPT = 6М	31.14	116.05	202.49
DPT = 10М	22.21	76.62	131.09

Рисунок 4. Сейсмокоза 1. Значения RMS шумов по каналам с применением полосового фильтра 6-18-200-302 Гц



Шум, мкБар	Мин	Сред	Макс
DPT = 2М	44.46	86.94	128.05
DPT = 4М	36.77	76.51	116.88
DPT = 6М	34.11	64.57	114.80
DPT = 10М	30.68	63.56	96.14

Рисунок 5. Сейсмокоса 2. Значения RMS шумов по каналам с применением полосового фильтра 6-18-200-302 Гц

являются ошибочные SEG-D файлы, заголовок которого дублирует предыдущий файл, но отсутствуют сейсмические данные. Такие файлы визуализируются как пустые трассы. Запись на второй сейсмокосе в этом же месте без дефектов (справа). В данном эксперименте проверялась работоспособность каналов приборной секции каждой сейсмокосы.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ ШУМОВЫХ ТЕСТОВ В РАЗНЫХ РЕЖИМАХ

На рисунке 4 и рисунке 5 приведены шумовые тесты при буксировке двух сейсмокос на расстоянии от судна равном 100 метров на разных глубинах и частоте дискретизации 2000 Гц. На рис. 4 приведены значения RMS сейсмокосы 1, полученные с использованием полосового фильтра 6-18-200-302 Гц.

На рисунке 5 приведены значения RMS сейсмокосы 2, полученные с использованием полосового фильтра 6-18-200-302 Гц.

На графиках показаны уровни шумов сейсмокос 1 и 2 при разных заглублениях 2,4,6,10 метров соответственно.

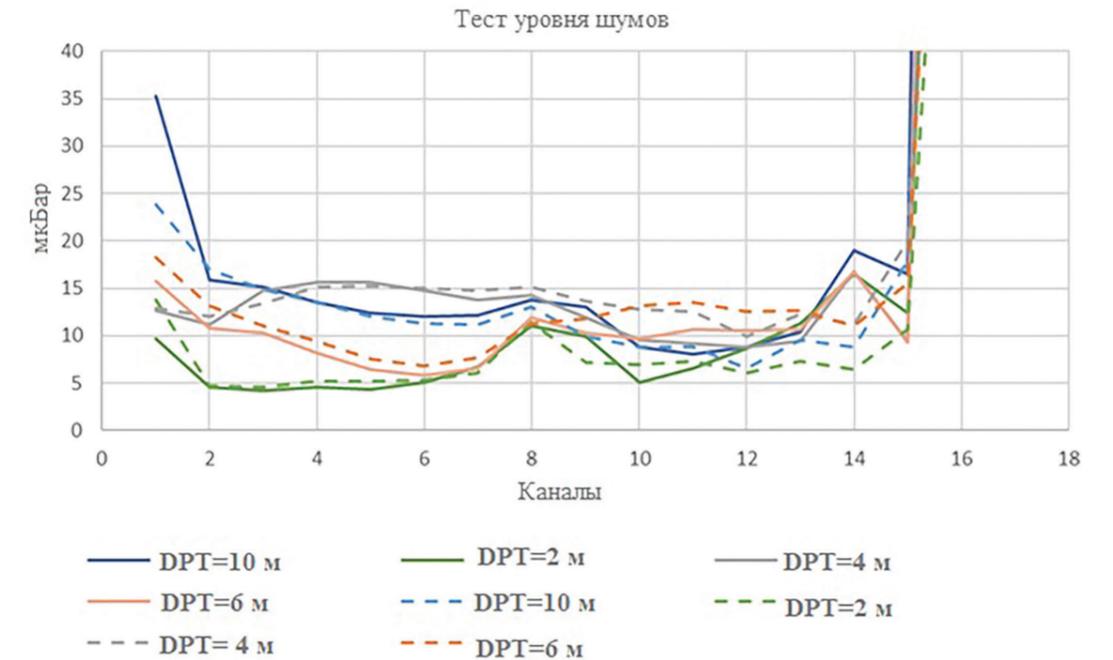
Из рисунка 4 и рисунка 5 видно, что 16 канал имеет повышенный уровень шума из-за влияния

хвостового буя (в данных испытаниях не использовалась хвостовая упругая секция). Однако на 15 канале влияние хвостового буя отсутствует.

На рисунках 6-7 приведен сравнительный анализ значения RMS сейсмокос 1 и 2.

На рисунке показаны уровни шумов сейсмокосы 1 по каналам сплошной линией (грузовая секция без полиуретановых ленточных обтекателей), а сейсмокосы 2 пунктирной линией (грузовая секция с полиуретановыми ленточными обтекателями) с учетом разных глубин.

Абсолютные показатели шумов буксируемых секций находятся на достаточно низком уровне. Минимальные показатели соответствуют критериям достаточного качества типовых требований технического задания на проведение сейсмоакустических работ и достигают 7.7мкБар с потенциалом понижения этого значения при увеличении длины косы. Из рисунка 7 видно, что полиуретановые ленточные обтекатели, которые использовались во 2 сейсмокосе (пунктирные линии на рисунке), уменьшают уровень шумов на первых каналах приборной секции. На 16 канале увеличение шумов происходит из-за влияния хвостового буя.



Сейсмокоса 1 (сплошная линия, без полиуретановых ленточных обтекателей)

Шум, мкБар	Мин	Сред	Макс
DPT = 2М	8.21	136.64	345.69
DPT = 4М	8.75	124.87	242.15
DPT = 6М	5.85	108.76	210.53
DPT = 10М	4.01	74.98	145.13

Сейсмокоса 2 (пунктирная линия, с полиуретановыми ленточными обтекателями)

Шум, мкБар	Мин	Сред	Макс
DPT = 2М	4.58	12.97	138.47
DPT = 4М	9.96	21.56	128.96
DPT = 6М	6.80	18.79	125.27
DPT = 10М	6.50	19.70	99.47

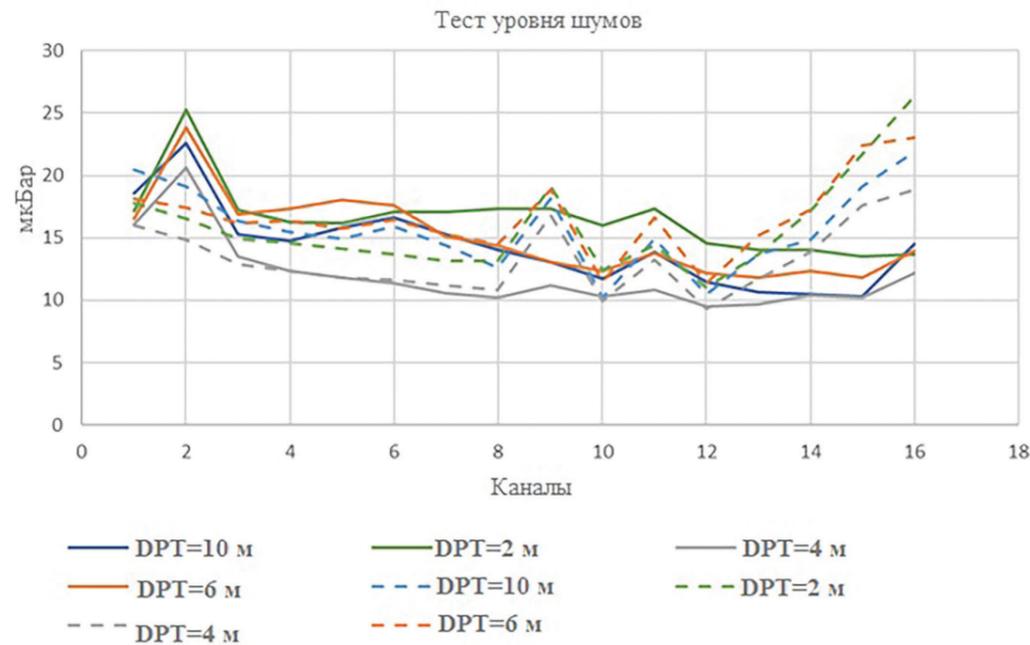
Рисунок 6. Сейсмокоса 1 и 2. Значения RMS шумов по каналам с применением полосового фильтра 5-10-30-50 Гц

На рисунке 7 видны различия по уровню шума, вызванные влиянием механических модулей управления глубиной.

Сравнительный анализ конструкции и основных технических характеристик представленных в таблице 1 показывает, что отечественный образец МГК соответствует зарубежным аналогам.

Применение в конструкции отечественного морского геофизического комплекса инновационных решений, таких как использование в грузовых секциях полиуретановых ленточных обтекателей (рис. 7), позволяет снизить уровень шума, что благопри-

ятно влияет на полученные данные в процессе его эксплуатации. Разрабатываемая конструкция первого в РФ отечественного морского геофизического комплекса подтвердила свою работоспособность в реальных условиях натурных испытаний. Заборное и бортовое оборудование надежно функционировало во время проведения натурных испытаний. Качество зарегистрированных акустических данных оценивается после обработки комплексом АПК ВКК СД (рисунке 3). Абсолютные показатели шумов буксируемых секций находятся на достаточно низком уровне и соответствуют требованиям технического



Сейсмокоса 1 (сплошная линия, без полиуретановых ленточных обтекателей)

Шум, мкБар	Мин	Сред	Макс
DPT = 2М	14.52	16.50	25.28
DPT = 4М	10.50	15.92	24.63
DPT = 6М	11.78	14.06	22.82
DPT = 10М	9.33	11.32	20.63

Сейсмокоса 2 (пунктирная линия, с полиуретановыми ленточными обтекателями)

Шум, мкБар	Мин	Сред	Макс
DPT = 2М	11.05	16.85	26.36
DPT = 4М	11.36	15.31	24.82
DPT = 6М	10.32	15.64	21.06
DPT = 10М	9.24	14.78	18.86

Рисунок 7. Сейсмокоса 1 и 2. Значения RMS шумов по каналам с применением полосового фильтра 225-250-500-600Гц.

задания к государственному контракту. Минимальные показатели соответствуют критериям достаточного качества типовых требований технического задания на проведение сейсмоакустических работ и достигают 7.7мкБар с потенциалом понижения этого значения при увеличении длины косы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. АО «Концерн «Океанприбор» изготовил и испытал предсерийный образец первого в РФ отечественного морского геофизического комплекса.
2. Качество зарегистрированного акустического

материала, полученного в процессе проведения экспериментальных исследований, соответствует техническим стандартам отрасли применяемым во всем мире.

3. Оценка качества отраженной волновой картины, включающая оценку соответствия амплитудно-частотных характеристик сигнала паспортным характеристикам ИУК и оценку подобию волновой картины данным получаемым при высокочастотном сейсмоакустическом профилировании (ВЧ НСАП) и сейморазведке сверхвысокого разрешения (ССВР), отклонений не выявила.

4. По конструкции и основным техническим характеристикам отечественный предсерийный образец МГК соответствует зарубежным аналогам. С помощью отечественного образца можно проводить сейморазведочные работы по 2D и 3D технологиям.

5. Экспериментально подтверждено, что применение в конструкции геофизического комплекса механических модулей управления глубиной влияет на общую шумовую картину.

6. Применение в конструкции отечественного морского геофизического комплекса инновационных решений, таких как использование в грузовых секциях полиуретановых вставок, позволяет снизить уровень шума

7. В процессе проведения экспериментальных исследований забортное и бортовое оборудование МГК показало надежное функционирование при совместной работе. Не было зарегистрировано ни одной аварийной ситуации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Государственная программа Российской Федерации «Развитие судостроения и техники для освоения шельфовых месторождений», Постановление правительства Российской Федерации от 15 апреля 2014 года № 304.
2. Государственный контракт №19411.1810190019.09.007 на выполнение ОКР «Разработка промышленной технологии и изготовление первого серийного образца морского геофизического комплекса с геленаполненной буксируемой сейсмокосой и источниками упругих колебаний» Шифр «Геленаполненная коса-ресурс», Минпромторг России, 2019.
3. Комплекс СУРА КТМЯ.461271.219. Технические условия, АО «РКЦ «Прогресс» - ОКБ Спектр», 2021.
4. Программный комплекс «СПО ВКК СД» СЕРФ.00005-01 34. Руководство оператора, ООО «Сплит», 2023.
5. Отчет по результатам обработки данных, полученных в рамках натурных испытаний предсерийного образца МГК с геленаполненной буксируемой сейсмокосой и источниками упругих колебаний, ООО «Сплит», 2024.

