eLIBRARY ID: 67204463 EDN: MQTVWU DOI: 10.34926/geo.2024.75.80.007

Особенности позиционирования приемоизлучающей системы при проведении трехмерных сейсмоакустических исследований

Геофизика. 2024. № 2. С. 48-51.

Бирюков Е.А., Понимаскин А.И., Сергеев С.А. (ООО «Сплит», 119234, г. Москва, вн.тер.г. муниципальный округ Раменки, пр-кт Университетский, д. 13, стр. 16)

Гайнанов В.Г., д.т.н. (ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», 119991, Россия, Москва, Ленинские горы, д. 1)

Аннотация

В работе излагаются требования и принципы позиционирования трехмерных высокоразрешающих сейсмоакустических приемоизлучающих систем. Представлены примеры некоторых широко востребованных на мировом рынке таких систем, с описанием их методов и принципов позиционирования. Так же описаны разработанные авторами подходы и алгоритмы к организации позиционирования отечественного трехмерного комплекса.

Ключевые слова: трехмерная сейсморазведка, инженерные изыскания на акваториях, морские трехмерные сейсмоакустические наблюдения, позиционирование, навигационные системы.

Abstract

This research outlines the relevance and importance of positioning three-dimensional high-resolution seismoacoustic transceiver systems. Examples of similar systems widely in demand on the world market are presented, with a description of their methods and principles of positioning. The approaches and algorithms developed by the authors for organizing the positioning of the Russian three-dimensional complex are also described.

Key Words: 3D seismic, marine engineering survey, very high resolution seismic, positioning, navigation systems.

Введение

Морские инженерные трехмерные сейсмоакустические наблюдения играют ключевую роль в современных геофизических исследованиях. Для достижения достоверности и высокого качества получаемых данных при таких исследованиях необходимо использование приемоизлучающих систем с высокоточным позиционированием. В данной статье мы рассматриваем особенности позиционирования, применяемые в существующих на мировом рынке системах P-Cable3D и 3D-UHRS, а затем подробно излагаем методические подходы к организации позиционирования в разработанной нами системе SplitMultiSeis3D.

Актуальность проблемы

Что такое позиционирование? Понятие - «позиционирование» можно понимать двояко: с одной стороны - это задание конфигурации системы наблюдений (количество кос и их разнос, количество приемных каналов и расстояние между ними, количество источников и их удаления от приемных линий, заглубления всех элементов системы), с другой стороны – это определение и контроль заданных параметров системы в реальном времени и учет их в обработке данных. При выполнении наблюдений на акваториях большое влияние оказывают: ветер, волнение, зыбь, течения, приливы и изменения курса судна – все это приводит к смещению системы сбора данных от изначально заданной конфигурации, и в итоге к изменениям в относительном положении источника и приемника. В современных условиях точная привязка становится всё более важной. Как отмечает Тина Миссаен, в своей работе [*Морская высокоразрешающая съемка 3-Д для исследований на мелководье. Некоторые практические рекомендации, 2005 г.*], точность позиционирования существенно влияет на интерпретацию данных и обеспечивает высокую достоверность результатов. Современные навигационные методы позволяют достичь этой точности, предлагая различные комбинации инструментов и программных решений, обеспечивающих эффективное позиционирование.

Обзор существующих систем позиционирования

В рамках трехмерных систем позиционирования существует несколько различных подходов и технологий. Например, системы P-Cable и 3D-UHRS GeoSurvey предлагают разнообразные методы и подходы к организации позиционирования своих комплексов.

Трехмерная система P-Cable буксируется при помощи специальной системы параванов и запатентованного кроскабельного соединения приемных кос. Все офсеты приемоизлучающей системы наблюдений четко выверены и соблюдаются в момент ее буксировки в рабочем режиме. Вид сверху на развернутую в работе систему P-Cable представлен на рисунке 1.

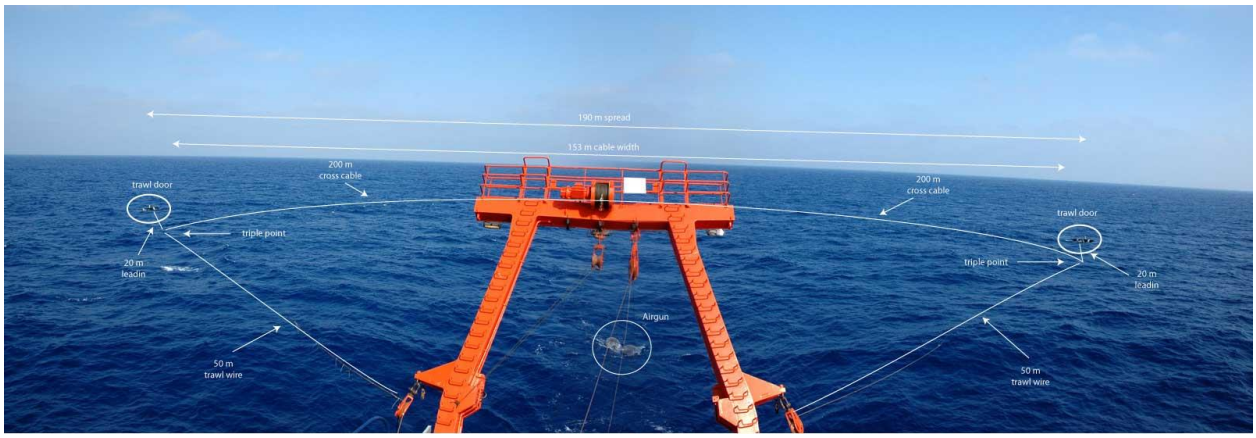

Рисунок 1. Вид сверху на систему P-Cable в рабочем состоянии.

Высокоточные навигационные DGPS приемники установлены в параваны по краям системы и на источник, который находится в центре расстановки. Тем самым получается треугольник с известными координатами, которые передаются на судно в центральную навигационную систему сбора по радиоканалу, эта информация позволяет в реальном времени отслеживать ожидаемое покрытие 3-Д. Так же в эту систему поступает информация о заглублении кос, датчики глубины встроены в оголовье и в хвостовой части каждой косы. Косы тщательно сбалансированы, чтобы обеспечить нейтральную плавучесть, поэтому они буксируются горизонтально на той же глубине, что и поперечный кабель. В данной расстановке отсутствуют хвостовые буи на косах, так как основная философия P-Cable: как можно меньше буксируемого оборудования должно находиться в воде

Трехмерная система 3D-UHRS производства компании GeomarineSurveySystems, руководствуется другими принципами при буксировке и позиционировании. В системе используются до 6-ти буксируемых кос и 3 источника. Косы буксируются на одинаковом удалении от среза кормы и расстоянии 4 м друг от друга, при помощи специальных б у к с и р о в о ч н ы х

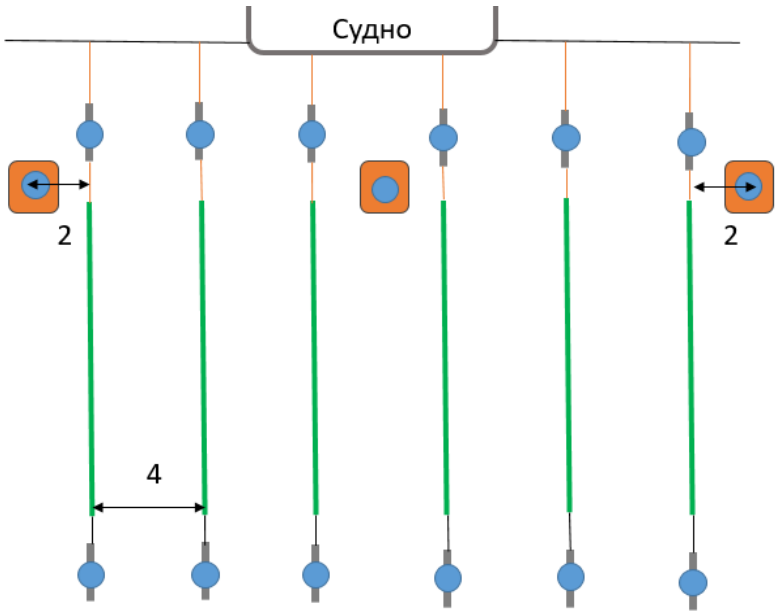

Рисунок 2. Трехмерная система 3D-UHRS, расположение забортных устройств. Вид сверху.

в ы с т р е л о в

В начале и в конце каждой косы установлены навигационные буи, косы между этими буями закреплены так, что глубина от начала к концу косы постепенно возрастает, тем самым обеспечивая наклонную буксировку (Рисунок 3).

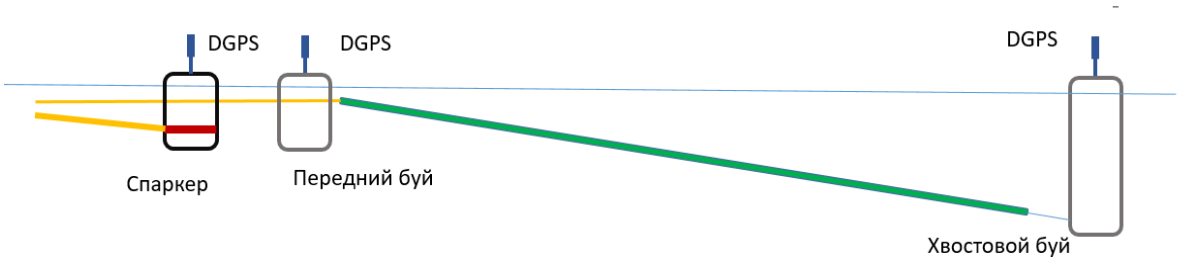

Рисунок 3. Трехмерная система 3D-UHRS, расположение забортных устройств. Вид сбоку.

Навигационная информация со всех буев поступает по радиоканалу на судно, где специальное программное обеспечение, обрабатывая ее в реальном времени, выводит на монитор оператора метаположение каждого элемента приемоизлучающей системы, его направление и скорость движения, позволяя оператору оценить фактическое покрытие во время съемки.

Рассмотренные выше две трехмерных сейсмоакустические системы наблюдений, наиболее востребованные на рынке, продемонстрировали разные подходы к решению задачи навигационного и пространственного позиционирования. Каждый из подходов имеет свои плюсы и минусы, и несомненно решает поставленную задачу. При проектировании системы позиционирования для отечественного трехмерного комплекса SplitMultiSeis3D, был выбран комплексный подход к решению задачи.

Принципы и подходы к организации позиционирования комплекса SplitMultiSeis3D

Система позиционирования SplitMultiSeis3D представляет собой эволюцию технологий и инженерных решений в области трехмерных исследований. Начав с использования ограниченного количества навигационных приемников и базовых систем позиционирования, постепенно увеличив количество приемников до максимально возможного для данной системы (8 DGPS устройств на 6-ти косах и 2-ух источниках), разработчики пришли к комплексному подходу решения задачи позиционирования. Этот подход заключался в комбинации двух систем позиционирования: навигационной и акустической. Навигационные буи высокой точности в буксируемой расстановке остались лишь на источниках и в хвостовой части на крайних косах, образуя тем самым прямоугольную систему с известными координатами. Весь массив приемных каналов каждой косы внутри этого прямоугольника рассчитывается уже по методу акустического позиционирования (Рисунок 4).

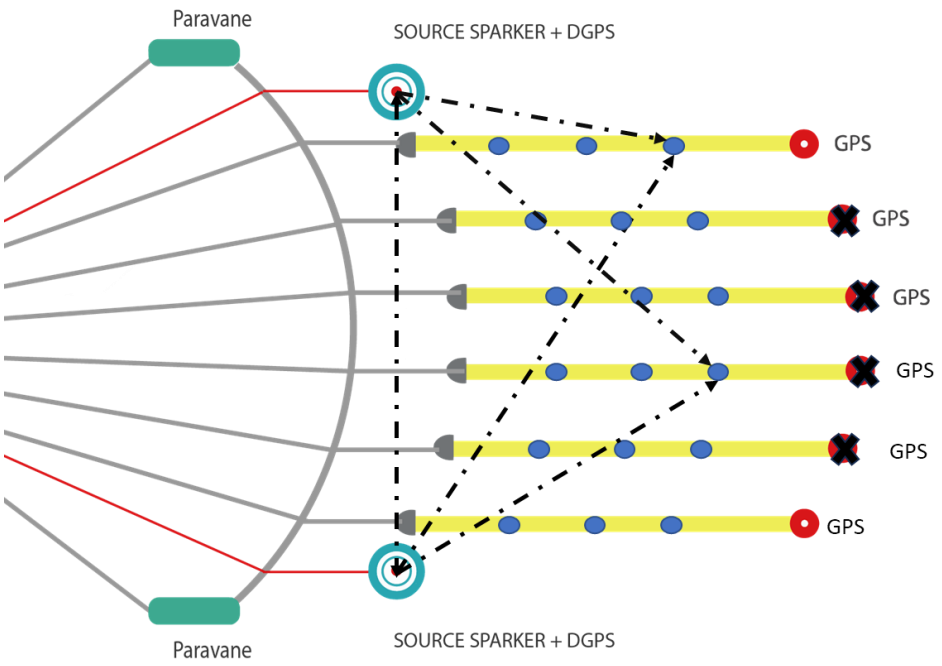

Рисунок 4. Принципиальная схема организации акустического позиционирования.

Система акустического позиционирования сейсмокос (далее – САПС), разработана с целью точного определения координат сейсмических каналов в момент выстрела. Этот модуль анализа осуществляет интеграцию данных, поступающих от навигационных буев, и информации, полученной в результате вычисления расстояния от источника до приемного канала на основе времени прихода прямой акустической волны.

САПС способен оперировать в режиме реального времени, предлагая два основных режима функционирования: определение координат источника и приемника. В первом случае требуется наличие навигационных буев как в начале, так и в конце сейсмокосы. Для эффективной работы модуля необходимы данные о координатах и скорости относительно земли, получаемые от навигационных систем. На основе этих данных строится кривая Безье, описывающая предполагаемую форму сейсмокосы при её движении. Затем проводится расчет координат каждого канала с учётом начального расстояния между каналами. Полученные значения времени прихода прямой волны используются для вычисления расстояний до каналов и представляют собой уравнение окружности. Используется метод наименьших квадратов для вычисления координат, учитывая данные от различных каналов.

Во втором режиме работы САПС используется для определения расположения косы с использованием двух или более источников с навигационными приемниками. Этот подход позволяет работать как с навигационными буями, установленными непосредственно на косе, так и без них. Для каждого выстрела одного из источников рассчитывается дистанция до каждого канала по прямой волне, после чего эти значения усредняются. Таким образом, для

каждого канала получается минимум два значения дистанции до каждого источника, что позволяет определить предполагаемую координату сейсмоканала (Рисунок 5).

Рисунок 5. Схема расчета дистанций для каждого канала по прямой волне.

Для улучшения точности определения координат применяется составление полинома третьей степени или выше, в зависимости от длины сейсмокосы, описывающего её форму. Для составления этого полинома также используется метод наименьших квадратов. Важно отметить, что веса каждого измерения могут быть заранее настроены, учитывая геометрические особенности конфигурации системы. Например, при трехмерной съемке первые каналы могут иметь более высокую точность по поперечной оси из-за меньших углов схождения, в то время как последние каналы лучше рассчитывать исходя из формы полинома или координат концевого буя.

Для обеспечения эффективности данного метода рекомендуется максимальная частота дискретизации на сейсмических каналах. Например, для инженерной трехмерной системы из четырёх сейсмокос с активной длиной 30 м расчетная точность определения по поперечной оси составляет примерно 40 см.

На рисунке 6 представлена, сейсмограмма, полученная в Черном море в 2019 году, где красным цветом показаны теоретические времена вступлений прямой волны, для проверки корректности присвоения геометрии. Где хорошо видно, что на дальних каналах времена разбегаются. Позиционирование тогда осуществлялось без комплексного подхода к решению задачи и без САПС.

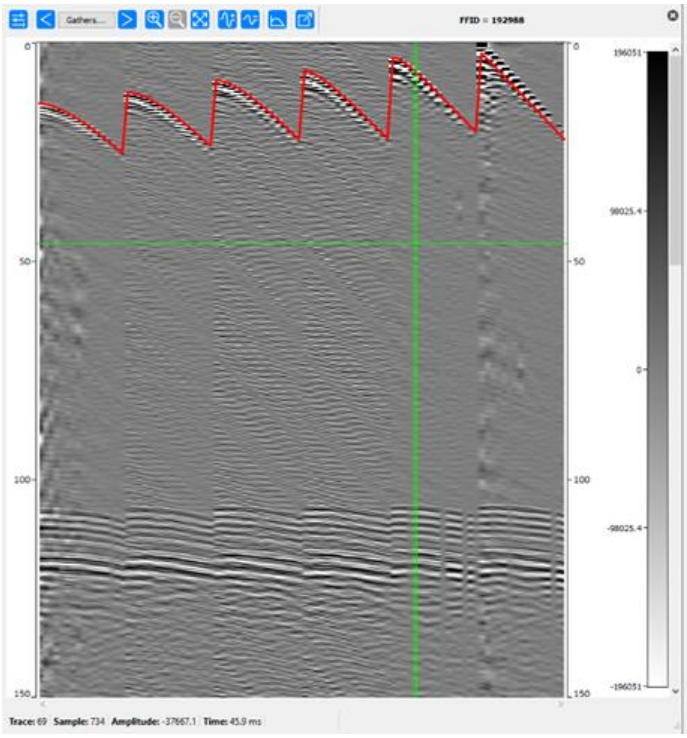

Рисунок 6. Сейсмограмма ОПВ, красным цветом показаны теоретические времена вступления прямой волны

На рисунке 7 представлена, сейсмограмма, полученная в Черном море в 2022 году, где красным цветом показаны теоретические времена вступлений прямой волны. На сейсмограмме хорошо видно, что на дальних каналах времена не разбегаются и сопоставимы. Позиционирование осуществлялось с использованием принципов и алгоритмов САПС.

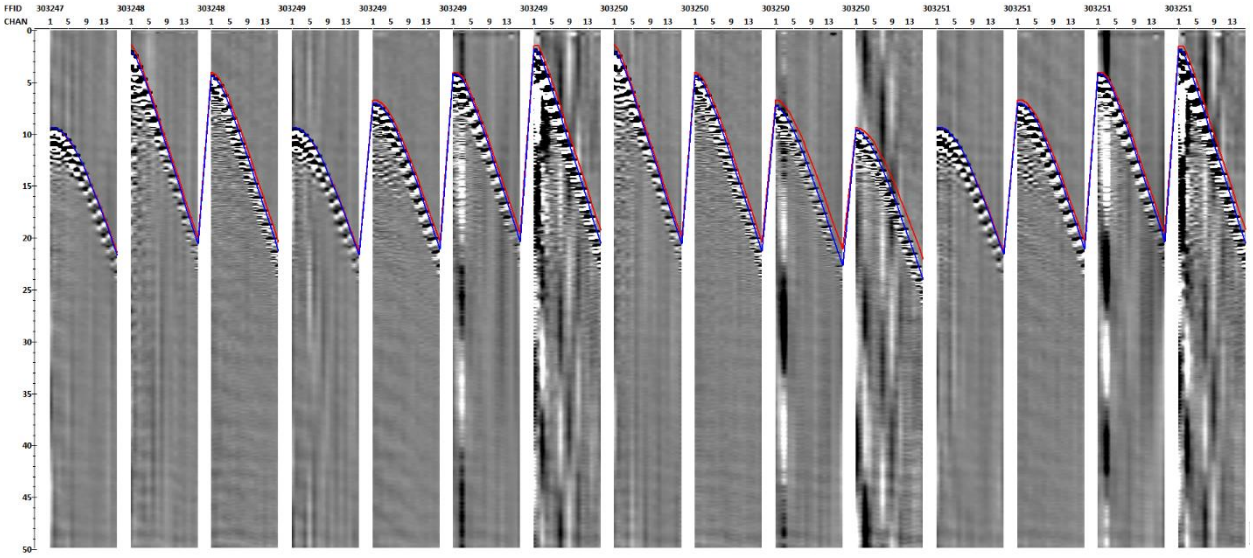

Рисунок 7. Сейсмограмма ОПВ для различных кос и источников, красным цветом показаны теоретические времена вступлений прямой волны.

Выводы

1. Получение качественных сейсмических изображений среды при трехмерных сейсмоакустических исследованиях на акваториях возможно только при обеспечении высокоточного позиционирования системы наблюдений.
2. В наиболее успешных в этом отношении зарубежных системах для позиционирования источников и приемников в процессе работ используется набор DGPS приемников и специальное программное обеспечение.
3. В разработанной нами системе для трехмерных сейсмоакустических исследований используется комбинация двух систем позиционирования: навигационной и акустической, что обеспечивает высокую точность позиционирования при относительной простоте системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гайнанов В.Г., Верхняцкий А.А., Токарев М.Ю., Шматков А.А. Трехмерные сейсмоакустические наблюдения на акваториях: обзор современных технологий // Деловой журнал Neftegaz. RU. 2017. № 1, с. 56-68.
2. Гайнанов В.Г., Токарев М.Ю., Зверев А.С., Росляков А.Г. Многоканальное сейсмоакустическое профилирование на разных частотных диапазонах – реальные возможности // Разведка и охрана недр. 2008. №1. С. 35-39.
3. Гайнанов В.Г., Токарев А.М., Потемка А.К. Мультичастотные высокоразрешающие сейсмические исследования на арктическом шельфе // Neftegaz.RU. 2023. №1. С.14-21.
4. Токарев М.Ю., Росляков А.Г., Терехина Я.Е., Бирюков Е.А., Колюбакин А.А., Горбачев С.В. Перспективные сейсмические технологии для инженерно-геологических изысканий на мелководном шельфе // *Геофизика*. — 2021. — № Спецвыпуск. — С. 3–11.
5. Marsset T., Marsset B., Thomas Y. and Didailler S. 2002. Sismique treshaute resolution 3D; une nouvelle methode d’imagerie des sols superficiels. Geoscience 334, 403–408.
6. https://ncs-subsea.com/media/ofg-acquires-ncs/
7. https:// https://www.geometrics.com/
8. https://ww2.geosys.nl/