

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата технических наук Колигаева Сергея Олеговича на тему
«Разработка программно-алгоритмического обеспечения пространственно-
временной обработки сейсмоакустической информации для морских
геофизических комплексов на базе стационарных приемных и
синтезируемых излучающих антенных решеток»
по специальности 1.6.9 – Геофизика (технические науки)

Актуальность темы диссертации

Освоение месторождений углеводородов на арктическом шельфе России является одним из основных перспективных источников восполнения их запасов. При разведке, обустройстве и эксплуатации шельфовых месторождений широко применяются сейсмоакустические исследования, в настоящее время не имеющие альтернативы по точности результатов и производительности работ данными методами. Последние десятилетия развития в этом направлении привели к созданию (зарубежных) высокоэффективных систем, основанных на использовании как буксируемых сейсмокос, так и донных сейсмокос и сейсмостанций.

В настоящее время такие системы разработаны и в России в рамках работ по подпрограмме «Развитие технологического потенциала гражданского судостроения и техники для освоения шельфовых месторождений» Государственной программы Российской Федерации «Развитие судостроения и техники для освоения шельфовых месторождений на 2013-2030 годы», технологическое направление «Освоение шельфа». Это такие работы как: ОКР «Геленаполненная коса» (АО «Концерн «Океанприбор»), ОКР «Твердотельная коса», ОКР «Сейсмокоса-2», ОКР «Местоположение», ОКР «Местоположение-ресурс», ОКР «Эмиссия», ОКР

«Транзит», ОКР «Коммуникация» (АО «АКИН»), ОКР «Сейсмотомография», ОКР «Сейсмотомография-ресурс» (АО «АМЭ»).

Одним из ключевых моментов повышения точности (разрешенности) сейсморазведочных работ является контроль за позиционированием сейсмодатчиков, входящих в состав морских сейсморазведочных систем и комплексов. Эта задача для разных комплексов решалась в следующих работах, выполненных в АО «АКИН»: в ОКР «Местоположение» для донных сейсмостанций и донных сейсмокос на основе автономных маяков-ответчиков; в ОКР «Местоположение-ресурс» для буксируемых сейсмокос на основе сети навесных акустических транспондеров при морской 3D сейсморазведке»; в ОКР «Сейсмокоса-2» - как встроенная функция автономной секционной донной сейсмокосы с ультразвуковым каналом позиционирования на длинной базе; в ОКР «Коммуникация» для акустического позиционирования с длинной и ультракороткой базой при инженерных, строительных и регламентных работах на морском шельфе.

В связи с этим, поставленная диссертантом цель в виде реализации в морских условиях сейсмолокационных геофизических методов с использованием стационарных приемных антенных решеток находится в тренде современных разработок.

Диссертационная работа С.О. Колигаева объемом 151 стр. состоит из Введения, 4-х глав, Заключения. Список литературы включает 101 наименование, включая 12 публикаций, из которых 5 статей в изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности, а также 3 патента на изобретение и 3 свидетельства о регистрации программ.

Основные задачи, решаемые в диссертационной работе:

1. Разработка элементов технологии морской сейсморазведки, в частности, способа низкочастотного позиционирования приемников

стационарных донных приемных сейсмоакустических антенн и источников возбуждения.

2. Разработка программного комплекса для обеспечения в морских условиях технологии морской сейсморазведки, основанной на пространственной фильтрации сейсмоакустических полей, регистрируемых донными антенными комплексами.

Во **Введении** сформулированы актуальность, цель и основные задачи, методология и научная новизна исследования, теоретическая и практическая значимость работы, положения, выносимые на защиту, достоверность результатов, их апробация и личный вклад автора.

В **первой главе** диссертационной работы рассмотрены фильтрующие свойства линейной антенны конечной длины, приведены примеры расчетов диаграмм направленности планарных антенн различной конфигурации, рассмотрены ограничения на пространственное развитие антенны, приведен пример моделирования фокусировки линейной антенны на источник в жидкой слоистой среде.

Во **второй главе** диссертации приведены основы способа гидроакустического позиционирования элементов приемной антенны по известным временам задержек приходов сигналов реперных источников (дальномерный метод или метод позиционирования на длинной базе), а также его разновидность, основанная на разности времен приходов сигналов на приемники антенны от общего источника (разностно-дальномерный метод). Приведены формулы для оценки точности расстояния излучатель-приемник. Для учета дисперсионных свойств среды на низких частотах рассмотрена известная модель Пекериса (жидкий слой на жидком полупространстве). Приведены дисперсионные кривые фазовых и групповых скоростей. На простейших примерах рассмотрены особенности выбора конфигурации реперных точек для системы позиционирования.

В **третьей главе** перечислен функционал программного пакета обработки сейсмо- и гидроакустических сигналов «ПОСиГС». Судя по описанию, пакет обладает широким набором программ для решения практически всех задач, возникающих при реализации активных и пассивных локационных методов.

В **четвертой главе** представлены результаты экспериментальных исследований и апробации разработанного программного обеспечения на реальных данных.

В **заключении** сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Автореферат адекватно отражает материал, изложенный в диссертации.

По диссертации имеется ряд замечаний:

1. Несмотря на достаточное количество ссылок на литературные источники, в диссертационной работе фактически отсутствует полноценный литературный обзор, позволяющий оценить научные достижения автора на фоне предшествующих работ и альтернативных подходов.
2. В ряде формул, взятых из других работ, не раскрыты важные для их применения детали или обозначения.

Например, в (1.7) не раскрыто, как следует вычислять по имеющимся записям коэффициенты корреляции сигнала $(\rho_s)_{ij}$ и шума $(\rho_n)_{ij}$ на i -том и j -том приемных элементах. В каких временных окнах вычисляется корреляция? Каким способом сигнал отделяется от шума?

Далее, что, например, означает σ в приведенной без вывода формуле (2.35) для точности оценки расстояния дальномерным методом? Это отдельная величина? или $\sigma^2 R$ – это обозначение дисперсии величины R , а $\sigma^2 \tau$ и $\sigma^2 C$ – дисперсии временных задержек и дисперсия скорости звука? Тогда почему там же ниже $\delta^2 \tau$ – дисперсия оценки временной задержки?

3. Для низкочастотного импульсного излучателя типа «Пульс-2», который «обеспечивает «... излучение импульсного сигнала в полосе частот 25-50 Гц...» получена «потенциальная оценка точности времени запаздывания $4 \cdot 10^{-5}$ с.» (2.40). Такая оценка представляется не реалистичной, поскольку, видимо, не учитывает временной дискретности сейсмической записи, которая для низкочастотных источников вряд ли меньше 1 мс. Так что оценка точности времени запаздывания не превысит этого значения, что на 2 порядка хуже приведенной оценки. В силу этого также вызывает сомнения оценка точности позиционирования низкочастотным источником равная 0.3 м, приведенная в (2.42), что скорее соответствует точности ультразвуковых измерений. При временной дискретизации записи в 1 мс оценка точности позиционирования даже теоретически не может быть меньше длины, определяемой этим интервалом, т.е. порядка 1.5 м. На практике же точность определения временной задержки по сдвигке максимума корреляционной функции будет еще хуже.
4. В разделе 2.4, где приводятся дисперсионные характеристики собственных мод в модели Пекериса, не сформулировано как ими можно воспользоваться в задаче позиционирования. Можно лишь догадываться, что можно использовать разность во временах прихода различных мод от общего источника для определения расстояния до него, аналогично тому, как это делается по разности времен прихода головных продольных и поперечных волн. Однако для реализации такого подхода требуется хорошее знание параметров среды, что само является самостоятельной задачей, для решения которой используется система наблюдений, позиционирование которой производится. Поэтому точность таких измерений заранее не очевидна и требует соответствующего исследования, которое отсутствует.
5. В главе 3, посвященной программному комплексу «ПОСиГС», и являющемуся одной из двух основных задач диссертационной работы, кратко перечислен лишь функционал программного пакета, без какого-

либо описания алгоритмов, на которых он основан, а также процедур верификации. Таким образом, приходится принимать на веру корректность работы соответствующего функционала.

6. В главе 4, посвященной экспериментальным исследованиям, практически полностью отсутствует описание места, времени, условий при которых эти исследования проводились, а также первичных данных, которые используются для дальнейшей обработки.

Например, остается не ясным где и когда проводились измерения, результаты которых обсуждаются в разделе 4.1.1 (рис. 4.1 – 4.3). Далее, по рисункам 4.4 – 4.5 из этого раздела, на которых отсутствуют оси, затруднительно получить представление о достигаемой точности позиционирования. В тексте эта информация также отсутствует.

Такие же вопросы возникают и по разделу 4.1.2. Опять не ясно где, когда и кем выполнены экспериментальные измерения. Опять на рисунках 4.12 – 4.14 нет обозначений осей. Правда, на рисунках 4.7 – 4.9 следы осей видны, но разобрать их не представляется возможным.

Аналогичные замечания касаются и остальных разделов главы 4. Единственным исключением является раздел 4.3.2 «Активная сейсмолокация (СЛБО)», где хоть какие-то данные приводятся, и можно понять, что сами исследования проводились в штате Техас, США, а более детальную информацию можно прочитать в диссертации, защищенной в 2017 г.

7. Из результатов, приведенных в главе 4, так и осталась не выясненной погрешность, с которой определяется дальность до источника на основе межмодовых задержек. Не обозначен даже способ, на основании которого может быть дана оценка этой точности.
8. В разделе 4.2.1 на рисунке 4.48 приведена фотография зала, где разложена антенна, и одной фразой сделано утверждение, что «Среднеквадратичная ошибка координат излучателя не превысила 10 см».

Непонятно, как и при каких условиях этот результат получен, и каким образом это можно проверить.

9. На рисунках 4.50, 4.54, 4.55 угадываются черты полигона АО «Атолл» (г. Дубна), о котором в тексте нет никаких упоминаний. По приводимому тексту можно понять, что использовалась «... система позиционирования на частоте 60 кГц в полосе частот 1 кГц.». Однако такие исходные данные используются «С целью моделирования условий работы с реальной низкочастотной приемной системой». Без детальных обоснований, которые отсутствуют, такой перенос данных высоких частот на низкие вызывает сомнения, тем более, что делается утверждение о достигаемой точности позиционирования в 1 м.

Как уже было отмечено выше в п.3, сама дискретность низкочастотной записи в 1-2 мс, дает погрешность в определении расстояний в 1.5 – 3 м. Как при этом можно получить более высокую точность позиционирования остается непонятным и никак не обосновано.

Тем не менее, несмотря на указанные замечания, которые, по-видимому, связаны в основном с недостатками изложения материала в диссертации, учитывая достаточное количество печатных работ, опубликованных в журналах установленного перечня, разработанный программный комплекс «ПОСиГС», защищенный свидетельствами о регистрации программ, наличие патентов на изобретение, а также то, что автореферат полностью отражает основное содержание диссертации, оппонент считает, что диссертационная работа С.О. Колигаева отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.6.9 – Геофизика (технические науки), удовлетворяет критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а сам соискатель Колигаев Сергей Олегович заслуживает присуждения ученой степени

кандидата технических наук по специальности 1.6.9. – Геофизика (технические науки).

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,
начальник отделения Промышленной акустики, начальник отдела
Геоакустики АО «Акустический институт им. академика Н.Н. Андреева»

МАКСИМОВ Герман Адольфович

26.10.2023

Контактные данные:

тел.: _____, e-mail: _____

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена
диссертация: 01.04.06 Акустика.

Адрес места работы:

117036, Москва, ул. Шверника, 4

Тел.: 7(499) 723-66-20;