

**На правах рукописи**



**Юркевич Николай Викторович**

**СОЗДАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА И СРЕДСТВ МОРСКОЙ  
ГЕОЛОГОРАЗВЕДКИ С ПОВЫШЕННОЙ РАЗРЕШАЮЩЕЙ  
СПОСОБНОСТЬЮ**

Специальность:

05.11.16 – Информационно-измерительные и управляющие системы  
(в промышленности)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Новосибирск – 2013

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Новосибирский государственный технический университет»

Научный руководитель: **Хайретдинов Марат Саматович**,  
доктор технических наук, профессор.

Официальные оппоненты: **Поллер Борис Викторович**,  
доктор технических наук, профессор,  
Институт лазерной физики  
СО РАН, заведующий лабораторией;

**Криволапов Геннадий Илларионович**,  
кандидат технических наук, доцент,  
Сибирский государственный университет  
телекоммуникаций и информатики,  
заведующий лабораторией.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук (ИФЗ РАН).

Защита состоится «17» декабря 2013г. в 13 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 212.173.05 в Новосибирском государственном техническом университете по адресу: 630073, Новосибирск, пр. К. Маркса, 20.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Новосибирского государственного технического университета.

Автореферат разослан «15» ноября 2013г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
доктор тех. наук, профессор

Юркевич Валерий Дмитриевич

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** На современном этапе и в исторической ретроспективе доказана высокая эффективность технологии ведения геологоразведочных работ на нефть и газ на морских акваториях методом непрерывного сейсмического профилирования (НСП). Достаточно указать всемирно известные компании «Шлюмберже», «PGS», Совкомфлот, владеющие передовой технологией НСП.

Наряду с применением в производственных сейсморазведочных работах метод нашел широкое применение для решения фундаментальных задач изучения дна Мирового океана. Результаты этих работ имеют определяющее значение для обнаружения и изучения подводных сейсмо-вулканоопасных районов Мирового океана, движений тектонических плит, а также прикладных задач подводной навигации. Наряду с зарубежными учеными Barton D. C., Karcher J. C., M. Schoenberger. И др., большой вклад в развитие метода НСП внесли отечественные ученые Балашканд, Глумов, Ельников, Зверев, Коган, Карп, Мерклин, Маловицкий Непрочнов, Седов, и др.

В связи с изученностью основных нефтегазоносных районов Мирового океана актуальными становятся вопросы повышения разрешающей способности выделения тонкослоистых структур зон месторождений углеводородов. Разрешающая способность метода НСП определяются разрешенностью отраженных волн во времени и пространстве и, в конечном счете, точностью восстановления сейсмических разрезов. На сегодня это достигается с помощью параллельно буксируемых пьезокос, охватывающих площади наблюдений с линейными размерами в несколько километров. Это определяет требование высокой степени временной синхронизации функционирования отдельных блоков системы НСП между собой.

**Цель работы.** Целью диссертационной работы является разработка, реализация и анализ точностных характеристик метода и системы временной синхронизации процессов излучения, регистрации и позиционирования и оценивание их вклада в повышение разрешающей способности метода непрерывного сейсмического профилирования, достаточной для ведения коммерческой геологоразведки углеводородов.

**Задачи исследования.** Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Выполнить анализ основных факторов, определяющих разрешающую способность метода НСП.
2. Разработать метод высокоточной временной синхронизации основных блоков (излучения, регистрации и позиционирования) системы НСП.

3. Обосновать выбор аппаратной базы и создание макета системы временной синхронизации блоков НСП в соответствии с предложенным методом.

4. Произвести натурные испытания созданного макета.

5. Выполнить статистический анализ погрешностей синхронизации с целью определения достижимого уровня синхронизации и оценки распределения ошибки синхронизации.

6. Получить оценки повышения разрешающей способности метода НСП с привлечением натуральных данных и разработать рекомендации по его совершенствованию.

**Научная новизна** диссертационной работы состоит в следующем:

1. Предложены, реализованы и внедрены новый метод и средства повышения разрешающей способности метода морской геологоразведки на углеводороды на основе высокоточной временной синхронизации автономных пространственно разнесенных блоков системы НСП.

2. Впервые получены оценки точности достижимых уровней погрешности временной синхронизации в соответствии с предложенным методом и их вклада в повышение разрешающей способности метода НСП.

3. Разработаны рекомендации по использованию предложенных нового метода и средств для повышения разрешающей способности метода НСП.

**Методы исследования.** Теоретическая часть работы основана на методах статистического анализа данных. Практическая часть работы состоит в натурных испытаниях предложенных метода и средств в условиях морской сейсморазведки. Результаты практической реализации представлены в работе выборкой из 1841 экспериментов (1841 цикл работы систем метода НСП), что при интервале в 25 секунд эквивалентно более чем 12 часам непрерывной работы сейсморазведочного судна.

**Положения, выносимые на защиту.** На защиту выносятся:

1. Новый метод повышения разрешающей способности метода морской геологоразведки на углеводороды на основе высокоточной временной синхронизации автономных пространственно разнесенных блоков системы НСП.

2. Разработанная и реализованная на основе предложенного метода технология проведения геологоразведочных работ, гарантирующая достижимый уровень временной синхронизации основных блоков -излучения, регистрации и позиционирования- в системе НСП в пределах  $\pm 10$  мкс, что многократно ниже верхнего допуска, определяемого существующими стандартами.

3. Результаты статистического анализа и натурных испытаний предложенного метода. Показано, что получаемые ошибки синхронизации блоков НСП носят случайный характер и описываются нормальным распределением. При этом с вероятностью 99.9% оценки среднего значения лежат в пределах от 0.2495 до 0.25711 мкс, что существенно выше по точности в сравнении с допустимой по стандарту.

4. Результаты натурных испытаний предложенного метода синхронизации и рекомендации по построению высокоразрешающей технологии проведения морских геологоразведочных работ с использованием предложенного метода и средств временной синхронизации НСП.

**Достоверность и апробация результатов.** Достоверность защищаемых положений обеспечена результатами анализа большого объема фактического материала и использованием современных методов и средств получения и обработки данных, а также заключениями экспертных комиссий при презентации данной работы на российских и международных конференциях и научных школах.

Основные положения и результаты данной работы были представлены на 7-ом международном форуме по стратегическим технологиям IFOST 2012, школе молодых учёных САИТ-2011, 11-ой международной конференции «Актуальные проблемы электронного приборостроения», международной научно-практической конференции «Инновационные информационные технологии», Второй Всероссийской научно-технической конференции "Научное и техническое обеспечение исследований и освоения шельфа Северного Ледовитого океана.

По результатам Конференции молодых учёных ИВМиМГ СО РАН в 2011 году работа удостоена диплома за 1-ое место в конкурсе работ.

**Практическая значимость работы.** Результаты работы направлены на повышение разрешающей способности методов морской геологоразведки, что является ключевым фактором при анализе и интерпретации сейсмических данных, а также при принятии решения о коммерческой целесообразности эксплуатации месторождения.

**Публикации.** По теме диссертации было опубликовано 9 научных работ, в том числе 2 статьи в научных журналах и изданиях, которые включены в перечень российских рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертации на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук (перечень ВАК), 2 статьи в научных журналах и изданиях, не вошедших в данный перечень, и 5 статей в сборниках трудов российских и международных научно-практических конференций.

**Личный вклад автора.** Личный вклад автора заключается в разработке и реализации предложенного метода, анализе факторов, определяющих погрешности временной синхронизации, в проведении натурных экспериментов для получения статистических оценок точности синхронизации основных блоков системы НСП, обработке и интерпретации полученной информации.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация изложена на 159 страницах машинописного текста. Состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, включающего 71 наименование, двух приложений, 35 рисунков и 9 таблиц. Основное содержание диссертации изложено на 120 страницах.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цели и научные задачи исследования; приведены основные научные результаты, выносимые на защиту; показана научная новизна исследований и оценена их практическая значимость; отражены уровень апробации и личный вклад соискателя в решении научных задач; дано описание структуры и объема диссертационной работы.

**В первой главе** охарактеризована проблема временной синхронизации распределенных систем в целом. Описано текущее состояние проблемы и существующие подходы к ее решению. Сделан обзор методов и средств решения задач временной синхронизации распределенных систем. Обоснована целесообразность разработки нового метода и средств повышения разрешающей способности метода морской геологоразведки на углеводороды на основе высокоточной временной синхронизации автономных пространственно разнесенных блоков системы НСП.

**Вторая глава** посвящена проблеме повышения разрешающей способности метода непрерывного сейсмического профилирования (НСП), определяющей возможности обнаружения тонкослоистых структур углеводородов. Описана технология проведения сейсморазведочных работ методом НСП на море. Охарактеризованы факторы, влияющие на разрешающую способность метода, и оценен вклад фактора временной синхронизации основных блоков системы НСП (блок навигации, блок контроля записи и блок контроля источника). Результатом наблюдений метода НСП является сейсмоакустический разрез (сейсмограмма) геологических слоев вдоль профиля наблюдений в масштабе времен пробега акустических волн.

Исходная постановка задачи формулируется следующим образом. Пусть  $t_1, t_2, \dots, t_n$  – времена пробега волн вдоль лучей «источник-приемник», наблюдаемые в результате каждого акта излучения («выстрела») зондирующих акустических импульсов. Получаемые времена отражают вступления последовательности определенного типа волн, отраженных от границ слоистой структуры среды. Наблюдения проводятся в точках линейного профиля на удалениях  $x_1, x_2, \dots, x_n$  от источника. Времена пробега волн  $t_i$  определяются распределением скорости соответствующей волны в среде.

Для описания распределения скорости используются различные модели среды, например, сферически-симметричной, горизонтально-слоистой либо более сложной модели с криволинейными границами. В случае горизонтальной-слоистой модели скорость будет зависеть от координаты  $z$  и, соответственно, будем иметь распределение скорости  $V(z)$ . Дополнительное условие состоит в том, что каждый слой является внутри себя однородным и имеет мощность (толщину), равную  $h$ . Основная задача метода НСП состоит в том, чтобы с учетом принятых ограничений определить для каждого слоя мощность  $h$  и скорость сейсмической волны  $V$  в нем по множеству измеренных значений  $t_i$ :

$$t_i = F(x_i, h, V) = \frac{\sqrt{x_i^2 + 4h^2}}{V} \quad (1)$$

Множество пар  $t_i$  и  $x_i$ , принято называть годографом, где  $i$  – номер эксперимента. Рассматриваемая задача относится к классу обратных задач: здесь по данным измерений времен пробега волн нужно восстановить слоистую структуру среды и определить ее параметры. Прежде всего, сюда относятся нефте-газосодержащие структуры. Точность решения задачи (1) осложняется ошибками измерения времен  $t_i$ , представляющими собой невязки между истинными и измеренными временами:

$$\delta(t_i) = t_i - F(x_i, h, V) \quad (2)$$

Рассматриваемые ошибки обусловлены рядом факторов:

- Аппаратурными погрешностями, возникающими из-за неточности временной синхронизации моментов излучения акустических импульсов параллельно работающими пневмоисточниками и регистрации отраженных волн;

- наличием внешних шумов, вносящих дополнительные погрешности в измерения;

- расхождением принятой модели среды от истинной, характеризующейся шероховатостью границ, наличием неоднородностей.

В практике обработки данных НСП снижение влияния внешних шумов достигается за счет усреднения результатов измерений времен на основе пространственной фильтрации сигналов от датчиков, сгруппированных в пределах базы приемной буксируемой антенны. Погрешности, обусловленные расхождением принятой модели среды с истинной, компенсируются на этапе интерпретации получаемых сейсмических разрезов среды путем введения статических поправок, обеспечивающих приближение к истинным разрезам. Успех в этом процессе зависит от опыта геофизика-интерпретатора. Из технологии проведения метода НСП следует, что весьма важны учет и минимизация аппаратных погрешностей. С учетом этого, данная работа направленная на создание и исследование метода и средств морской геологоразведки с повышенной разрешающей способностью, решает задачу минимизации указанных погрешностей.

Составляющими метода НСП в условиях морской сейсморазведки являются 3 синхронизируемых по времени блоков системы НСП:

1. Блок управления источником сигнала.

Данный блок является контроллером источника акустической волны. В задачи его входит генерация акустического импульса с  $\delta$ -образной характеристикой в заданное время. В зависимости от используемого типа источника энергии (кинетическая энергия сжатого воздуха) задачи, решаемые блоком, варьируются. Могут решаться задачи динамической калибровки массива пневматических пушек либо вибрационных установок, контроля входного давления в источнике, отчета об испущенном импульсе и т.п..

2. Блок регистрации сейсмоакустического сигнала.

Данный блок призван записывать отраженные акустические волны, осложненные внешними шумами. Единственным элементом обработки данных на этом этапе является частотная полосовая фильтрация, учитывающая преобладающие частоты зондирующего акустического импульса.

Запись отраженных волн производится строго в определенный временной промежуток, определяемый глубиной залегания интересующих донных слоев.

В ряде случаев на этапе дискретизации сигнала происходит синхронное сложение входных сигналов с нескольких соседних приемников для увеличения отношения полезного сигнала к шуму и улучшения качества сигнала.

3. Блок позиционирования источника и приемника акустического импульса.

Блок позиционирования призван предоставлять информацию о географических координатах и высоте отслеживаемых объектов (в данном случае каждого индивидуального приемника и источника) в заданный момент



времени. Помимо этого, блок позиционирования выполняет синхронизирующие и командные функции, осуществляя контроль за интервалом и местом выстрела импульсов источников, временем начала и конца записи отраженного сигнала и т.п. Данный блок также рассчитывает предполагаемое время достижения заданной точки выстрела.

Регистрация позиций ведется в режиме реального времени с частотой до 1 Гц, однако, запись данных производится 1 раз на 1 импульс источника. Позднее позиции в промежутке между выстрелами могут быть интерполированы.

В данной работе блок позиционирования рассматриваемый, как контроллер процесса временной синхронизации, является ключевым в системе НСП. Его описание приведено в третьей главе.

Из сказанного видно, что использование метода НСП сопряжено с решением нетривиальных задач и проблема временной синхронизации процессов лишь одна из них.

Также описывается традиционный метод решения задачи временной синхронизации элементов НСП, производится его анализ, из чего делается вывод о необходимости разработки принципиально новой технологии синхронизации в распределенной системе НСП.

Все применяемые ранее системы относятся к «командному» типу. В этом случае синхронизация осуществляется единым «командным пунктом», выдающим импульс начала процесса каждому из блоков системы НСП (рис. 1). Иными словами, как только судно достигает расчетной точки, посылаются сигнал блоку контроля источника о моменте испускания «импульса-источника». Одновременно посылаются соответствующий сигнал блоку позиционирования о регистрации позиции источника. Таймер командной системы отсчитывает необходимые задержки и посылает записывающему блоку сигналы о начале и конце записи соответственно. Аналогичные сигналы также посылаются блоку позиционирования для регистрации пространственного положения приемников. Применение подобного рода системы синхронизации обусловлено ее относительно простой реализацией-здесь единственным носителем времени является головная система. Однако, у нее есть ряд существенных недостатков, наличие которых не позволяет значительно повысить достижимый уровень синхронизации. Основные из них следующие:

- отсутствие какой либо дополнительной информации о команде на испускание зондирующего «импульса- источника» может привести к ее неверному толкованию и ошибочному исполнению. Это обусловлено влиянием ряда внешних факторов- нестабильностью характеристик носителя информации о команде, погрешностью генераторов сигналов, задержкой блоков на

вспомогательные вычисления и т.п. Отсутствие системы контроля качества при этом делает невозможным раннее обнаружение указанных ошибок.

- при рассматриваемом способе синхронизации ограничивается максимальное расстояние, на которое может передаваться синхронизирующий сигнал в связи с увеличением ошибки при пространственном разнесении блоков.

- требование мгновенного исполнения команды на испускание «импульса-источника», не дает исполняющей системе времени на выполнение каких либо дополнительных предварительных вычислений, связанных с выполнением задачи. В противном случае, вычислительная задержка ведет к ошибке синхронизации;

- случайный характер величины объективных факторов, влияющих на общую величину ошибки синхронизации и относительно большой разброс погрешностей, практически исключает возможность их оценки и компенсации;

- при использовании «командной» системы для контроля источника неминуемо возникает систематическая ошибка в связи со временем достижения массивом пневмо-источников пикового значения акустического импульса, что приводит к ошибке определения временной задержки между временем испускания и регистрацией волны, а, следовательно, и ошибке вычисления глубины залегания отражающих пластов;

- «командная» система не предусматривает возможности контроля качества исполнения команд, что делает невозможным оценку ее работы.



Рисунок 1 – Структурная схема классического метода временной синхронизации систем НСП

**В третьей главе** детально описывается разработанная технология повышения разрешающей способности метода НСП, проводится сравнительный анализ разработанной и классической технологий. Обозначаются преимущества и недостатки обеих технологий.

Особенностью предложенного метода является то, что впервые при решении задач временной синхронизации систем метода НСП, задача хранения «истинного» времени перекладывается на каждый из синхронизируемых блоков в отдельности. Данное решение, с одной стороны, является явным

усложнением общей модели и приводит к некоторому удорожанию системы НСП. С другой же стороны, имея одинаковые точки отсчета и свои таймеры, каждый из блоков в отдельности может прогнозировать наступление конкретного события независимо от контрольного пункта, что обуславливает ряд неоспоримых преимуществ в сравнении с классическим методом:

- в отличие от командного в предлагаемом методе осуществляется передача сообщения, а не импульса, что позволяет передать значительно больше информации, как то: тип предстоящего события, идентификатор контроллера источника, осуществляющего выстрел на данной итерации, конфигурация пушек на текущий выстрел, корректирующее значение систематической ошибки и т.д;

- при использовании командной системы не гарантируется достижения пика акустического «импульса-источника» в точно определенный момент, так как сообщение приходит в последний момент, не оставляя контроллеру источника времени на подготовку к исполнению команды. В предлагаемом же методе, контроллер источника имеет достаточно времени на подготовку и, что не менее важно, на ответ системе навигации.

- в предлагаемой системе оповещение синхронизируемых блоков системы НСП осуществляется заблаговременно с возможностью задать время момента наступления события. Таким образом, решается задача компенсации задержки передачи синхронизирующего сигнала при значительном удалении синхронизируемых систем НСП друг от друга. Это означает, что расстояние на которое будут разнесены синхронизируемые блоки практически не ограничено.

- в предлагаемой системе предусмотрена система контроля качества синхронизации, что позволяет в режиме реального времени осуществлять контроль и корректировку синхронизации.

В предложенном методе навигационная система является основным звеном управления процессом синхронизации (рис. 2). На основании рассчитанного навигационной системой теоретического времени достижения акустическим источником заданных координат, система навигации посылает сетевое сообщение о времени и характере грядущего события.

По получении такого сообщения каждая из систем производит следующие действия.

1. *Контроллер навигации* – перед наступлением выстрела, определяет позиции надводного и подводного оборудования. Надводная часть позиционируется модулями GPS (используется так называемый векторный метод триангуляции, основанный на вычислении позиции относительно высокоточно определенной позиции судна, позволяющий минимизировать влияние ионосферных ошибок передачи спутникового сигнала). Координаты

подводного оборудования определяются специальной акустической сетью подводных опросных устройств. Приемными же устройствами являются сами акустические датчики. Интервал стрельбы определяется конфигурацией сейсмокос и геофизическими целями работ и, как правило, составляет 25м.

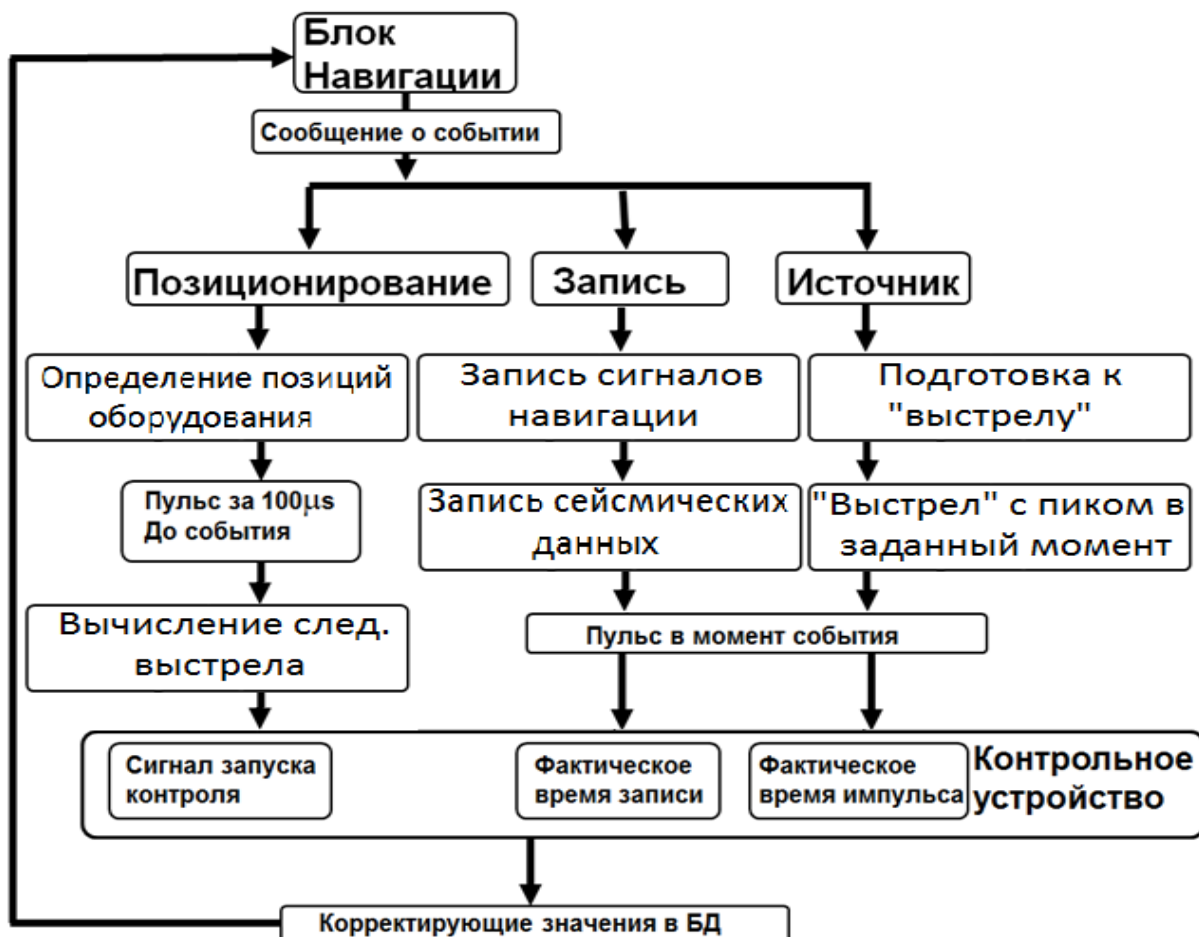


Рисунок 2 – Структурная схема предлагаемого метода временной синхронизации систем НСП

2 *Контроллер записи* – производит запись регистрируемых данных в режиме реального времени. При этом часть данных, зарегистрированных непосредственно перед выстрелом, передается системе навигации для вычисления позиций приемников. После наступления расчётного времени система осуществляет запись сейсмических данных с групп приемников (типичная конфигурация судна в 10 сейсмокос 8 км длиной представляет собой 64 000 канальную систему записи). В зависимости от геофизических целей проводимых работ запись сейсмических данных производится в течение 6-10 секунд. После этого запись останавливается.

3 *Контроллер источника* – контролирует источник акустического сигнала, в качестве которого выступает массив пневматических пушек. Каждая из них

представляет собой камеру объемом от нескольких литров до нескольких десятков литров, содержащую сжатый воздух под давлением порядка 150 Атм и управляемую соленоидом. Испущенный такой пушкой импульс имеет слабо затухающий характер, что крайне нежелательно. Благодаря высокоточной временной синхронизации существует возможность выстрела каждой из пушек в строго отведенный момент. Таким образом, удается наложить сигнатуры каждой из пушек со сдвигом фаз, обеспечивающим максимизацию основного пика давления при компенсации затухающих колебаний. При получении сообщения о предстоящем выстреле, контроллер осуществляет подготовку нужного массива в соответствии с типом предстоящего события. При этом пик акустического импульса будет достигнут точно в заданное время.

В предложенном методе в момент наступления заданного времени каждая из систем испускает отчетный импульс, который принимается и анализируется системой контроля качества, которая, в свою очередь, на основании полученных сведений, формирует корректирующие значения для устранения ошибок синхронизации каждой из систем. На основании времени прихода отчетных сигналов делается заключение о величине ошибки синхронизации той или иной системы. Полученные данные о качестве синхронизации передаются навигационной системе и, в случае необходимости, включаются в следующее сетевое сообщение соответствующей системе для коррекции ошибки ее внутреннего таймера.

*Навигационная система*, выступающая в роли системы-хранителя эталонного времени (именно это время используется для задания момента генерации акустического импульса и содержится в сетевом сообщении, передаваемым другим системам) также выполняет функции контролирующей системы. Так в модели предложенного метода в модуле контроля качества синхронизации навигационной системы за 100 мкс до наступления момента выстрела включается таймер контроля качества, отсчитывающий единицу каждые 0.05 мкс. С помощью данного таймера возможно зарегистрировать момент прихода отчетного импульса от синхронизируемых систем. Таймер останавливается через 100 мкс после момента выстрела пневмоисточника. Таким образом, система контроля качества определяет отклонение систем от эталонного времени в пределах  $\pm 100$  мкс с разрешением в 0.05 мкс.

**Четвертая глава** посвящена практической реализации новой, разработанной диссертантом, технологии временной синхронизации в системе НСП, включая описание ее структуры и созданного аппаратного рабочего макета устройства, поддерживающего данную технологию. Приведены результаты натурных испытаний макета, подтверждающие эффективность

предложенной технологии временной синхронизации в повышении разрешающей способности метода НСП.

В настоящее время предложенная система была опробована автором в условиях морского непрерывного сейсмического профилирования и внедрена в двух вариантах конфигурации.

Первый вариант системы предназначен для временной синхронизации процессов в пределах одного судна и обеспечивает гарантированный уровень синхронизации в диапазоне не свыше  $\pm 10$  мкс (достижимый уровень - 2 мкс) с разрешением в 0.05 мкс. Модель системы в данном исполнении описана в данной работе.

Второй вариант предусматривает синхронизацию систем, работающих на разных судах. В таком исполнении модель системы отличается от предложенной наличием канала радиосвязи вместо кабельного соединения. Соответственно, гарантированный уровень синхронизации - в пределах 70 мкс (достижимый уровень синхронизации 3 мкс) с разрешением 0.05 мкс. Практически можно утверждать, что уровень временной синхронизации распределенных систем в случае их удаления в пределах десятков километров не меняется. Главным фактором, обуславливающим уровень синхронизации при разнесении систем на значительные расстояния, будет являться разница в значениях времени GPS, получаемых со спутника. Так, при использовании одних и тех же спутников и относительном равенстве путей радиоволн "спутник-приемник", вычисляемые разными приемниками значения будут совпадать. В свою очередь, при существенном удалении, различные приемники будут принимать сигналы с разных спутников. При этом сами сигналы будут характеризоваться различными ошибками, обусловленными распространением радиоволн.

**В пятой главе** приводятся результаты статистического анализа погрешностей временной синхронизации основных блоков системы НСП в соответствии с предложенным методом (рис. 4). Получено заключение о достижимой погрешности временной синхронизации, характере ее распределения и значениях статистических параметров. Результаты статистического анализа погрешностей сведены в таблице 1.

Качество синхронизации оценивается с помощью метода статистической обработки данных системы контроля качества. Исходными данными для задачи статистического оценивания является экспериментально полученная выборка отклонений систем позиционирования, контроля источника и контроля записи от эталонного времени (рис. 3). В данной работе рассматривается механизм оценки качества на примере выборки из 1841 экспериментов (1841 цикл работы системы или 1841 выстрел).

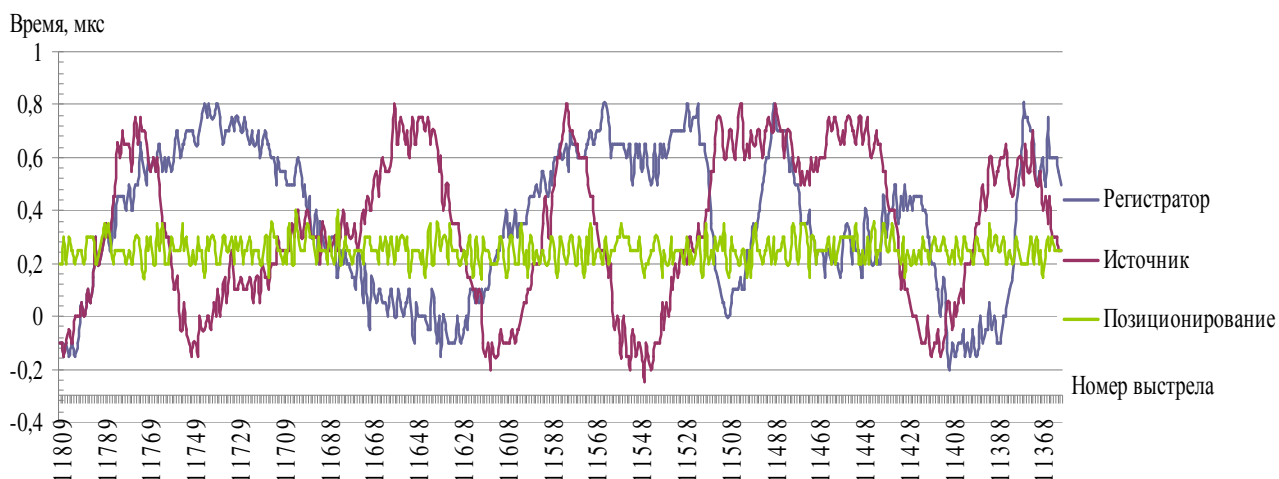


Рисунок 3 – Экспериментально полученная выборка отклонений систем позиционирования, контроля источника и контроля записи от эталонного времени после фильтрации

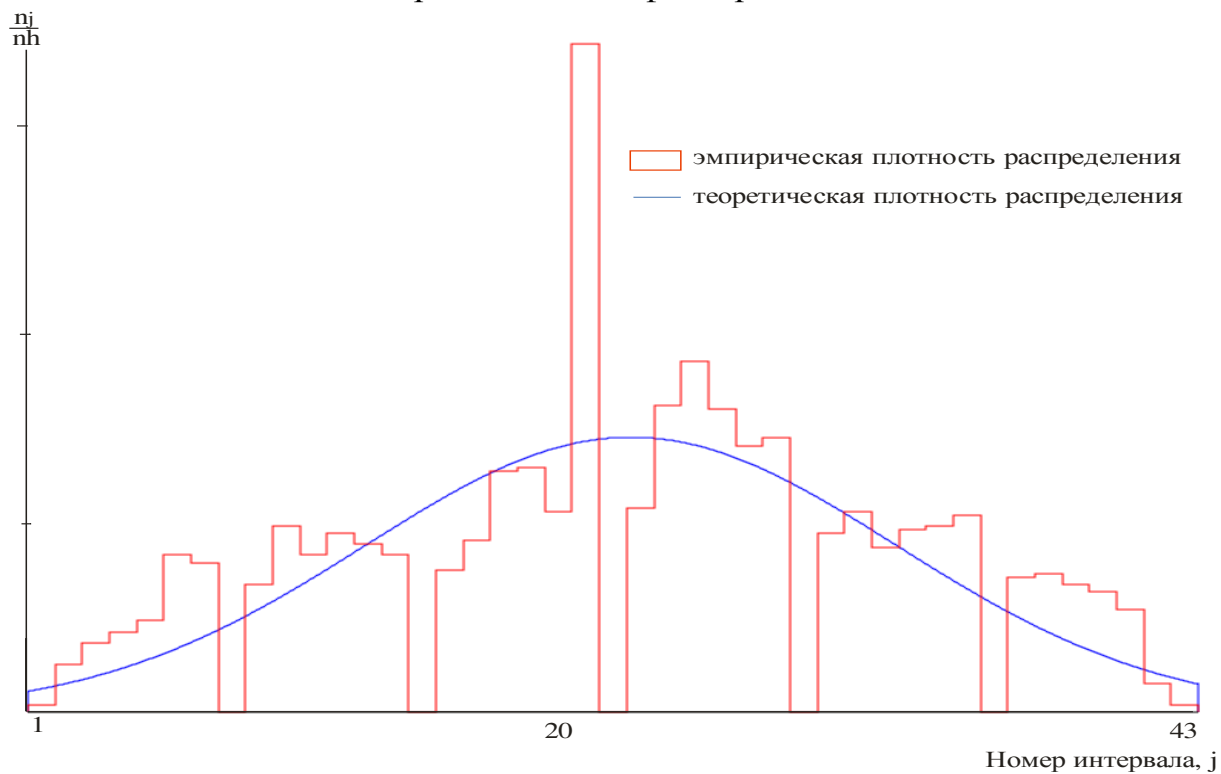


Рисунок 4 – Распределение разницы ошибок систем контроля источника и записи.  $p=0.95: 0.034 \leq m\delta \leq 0.072$  мкс

Таблица 1 – Результаты статистического анализа погрешностей

	Система контроля записи	Система контроля источника	Система позиционирования	Разница систем записи и источника
Среднее значение	0.34	0.28	0.25	0.05
Дисперсия	0.0827	0.0896	0.0024	0.1762
среднеквадратичное отклонение	0.288	0.300	0.050	0.420
Асимметрия	-0.123	0.011	0.058	0.100
Экссесс	-1.26	-1.34	-0.32	-0.70

**В заключении** формулируются основные выводы по результатам исследования, проводится сравнительный анализ предложенного и классического методов временной синхронизации (табл. 2), оценивается потенциальный вклад предлагаемого метода временной синхронизации в улучшение разрешающей способности метода НСП. Благодаря этому становится возможным выделение тонкослоистых структур и повышение точности определения их характеристик на сейсмоакустическом разрезе (рис. 5)

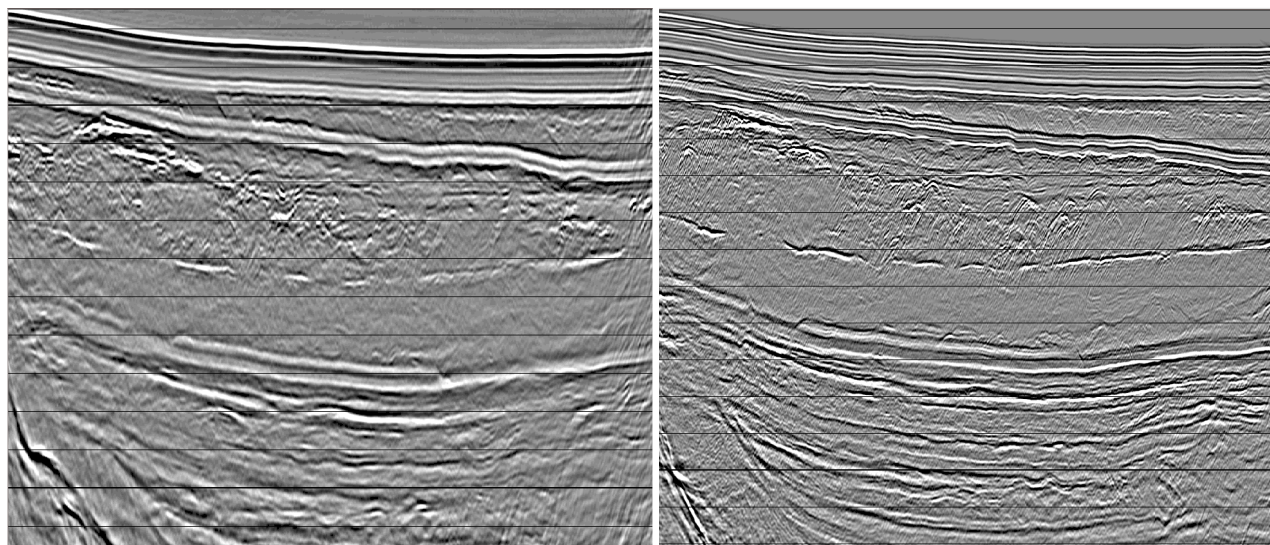


Рисунок 5 – Пример расчетного улучшения разрешающей способности результатов НСП за счет использования предложенной технологии временной синхронизации



Таблица 2 – Сравнение предлагаемого и классического методов синхронизации

Предложенный метод	Классический метод
<p>Пиковое время пульса соответствует заданному, так как, система контроля пневматических источников имеет достаточно времени для инициализации.</p>	<p>Пиковое время пульса не соответствует заданному, так как система контроля пневматических источников НЕ имеет достаточно времени для инициализации.</p>
<p>Решение о выстреле принимается не менее чем за <math>500 \cdot 10^{-3}</math> с до момента испускания пульса.</p>	<p>Решение о выстреле принимается как можно ближе к месту выстрела, то есть в последний момент.</p>
<p>Существует возможность задать время прохождения сигнала по каналам связи (стандартно <math>500 \cdot 10^{-6}</math> с).</p>	<p>Поправка на задержку канала связи не может быть введена.</p>
<p>Учитывается время распространения сигнала по каналам радиосвязи между судами (стандартно не менее <math>500 \cdot 10^{-3}</math> с).</p>	<p>Время распространения сигнала по каналам радио связи между разными судами не учитывается.</p>
<p>Система контроля качества синхронизации в режиме реального времени.</p>	<p>Отсутствие системы контроля качества</p>
<p>Получающая система имеет возможность ответить на сетевое сообщение заранее.</p>	<p>Получающая система не имеет возможности ответить на сообщение, а, соответственно не может и оспорить его.</p>
<p>Радиус действия системы ограничен лишь разумным временем передачи сигнала и не влияет на качество синхронизации. Т.е. возможно синхронизировать 2 системы в противоположных частях планеты без потери качества.</p>	<p>Ошибка синхронизации напрямую зависит от удаленности синхронизируемых систем.</p>

### **Основные результаты диссертационной работы:**

1. Разработан, исследован и внедрен новый метод повышения разрешающей способности метода морской геологоразведки на углеводороды на основе высокоточной временной синхронизации автономных пространственно разнесенных блоков системы НСП. Реализованная на его основе технология проведения разведочных работ гарантирует достижимый уровень временной синхронизации блоков НСП в пределах  $\pm 10$  мкс, что многократно превосходит по точности требования существующих стандартов.

2. Выполнены статистический анализ и натурные испытания предложенного метода. Показано, что среднее значение ошибки временной синхронизации, гарантируемое предложенным методом при анализе экспериментально полученных данных, с вероятностью 99.9% лежит в пределах от 0.2495 до 0.25711 мкс

3. Разработаны рекомендации по построению высокоразрешающей технологии проведения морских геологоразведочных работ с использованием предложенных метода и средств временной синхронизации НСП.

**В приложениях** приведены, полученные в результате натурального эксперимента данные о величине ошибки синхронизации систем метода НСП и скорости распространения звуковой волны в морской воде в зависимости от глубины.

### **ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ**

В научных журналах и изданиях, которые включены в перечень ВАК российских рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертации на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук:

1. Хайретдинов, М. С., Юркевич, Н. В. Метод высокоточной временной синхронизации процессов управления в технологии морской нефтеразведки / М. С. Хайретдинов, Н. В. Юркевич // Автометрия. - 2013. - Т.49. - № 3. - С. 56-64.

2. Хайретдинов, М. С., Юркевич, Н. В. Технология высокоточной временной синхронизации для метода непрерывного сейсмического профилирования / М. С. Хайретдинов, Н. В. Юркевич // Научный Вестник НГТУ. - 2013. - № 251. - С. 81-86.

В научных журналах и изданиях, не вошедших в перечень российских рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертации на соискание ученых степеней доктора и

кандидата наук, сборниках трудов российских и международных научно-практических конференций:

3. Юркевич, Н. В. О проблеме временной синхронизации элементов метода непрерывного сейсмического профилирования / Н. В. Юркевич // Сборник материалов XII Всероссийской конференции молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям», 3 - 6 октября, 2011, Новосибирск, Россия. – 2011. - С. 50-54.

4. Юркевич, Н. В. Технология временной синхронизации элементов метода непрерывного сейсмического профилирования / Н. В. Юркевич // Сборник материалов VIII Международного научного конгресса и выставки ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ-2012, 17 - 19 апреля, 2012, Новосибирск, Россия. - 2012. – С. 70-76.

5. Юркевич, Н. В. Высокоточная временная синхронизация элементов метода непрерывного сейсмического профилирования / Н. В. Юркевич // Сборник материалов XIII международной научно-практической конференции "Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности и экономике", 24 - 25 мая, 2012, Санкт - Петербург, Россия. - 2012. - С. 316-323.

6. Хайретдинов, М. С., Юркевич, Н. В. Технология высокоточной временной синхронизации для метода непрерывного сейсмического профилирования / М. С. Хайретдинов, Н. В. Юркевич // Сборник материалов Второй Всероссийской научно-технической конференции «Научное и технические обеспечение исследований и освоения шельфа Северного Ледовитого океана», 2 - 6 июля, 2012, Новосибирск, Россия. - 2012. - С 120-125.

7. Юркевич, Н. В. Технология временной синхронизации элементов метода непрерывного сейсмического профилирования // Сборник материалов Седьмой Международной Азиатской школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем", 17 - 27 октября, 2011, Ташкент, Республика Узбекистан. - 2011. – С 168-172.

8. Юркевич, Н. В. Метод повышения точности системы временной синхронизации в морской геологоразведке / Н. В. Юркевич // Труды конференции молодых учёных ИВМиМГ СО РАН, 11 - 14 октября, 2011, Новосибирск, Россия. - 2011. - С. 78-79.

9. Юркевич, Н. В. Технология временной синхронизации процессов метода непрерывного сейсмического профилирования / Н. В. Юркевич // Материалы Межвузовской научной студенческой конференции (МНСК-2010) «Интеллектуальный потенциал Сибири», 19 - 20 мая, 2010, Новосибирск, Россия. - 2010. – С 30-31.

Отпечатано в типографии Новосибирского  
государственного технического университета  
630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,  
Формат 60 X 84 1/16, объём 1.25 п.л. тираж 90 экз.  
Заказ № 1451 подписано в печать 14.11.2013 г.  
тел./факс (383) 346-08-57