

На правах рукописи

Мамаева Светлана Олеговна

**МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА
С ТРЕБУЕМЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ**

Специальность 05.11.16 – Информационно-измерительные и управляющие
системы (приборостроение)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Санкт-Петербург – 2007

Работа выполнена в Санкт-Петербургском государственном электротехническом университете «ЛЭТИ» им В. И. Ульянова (Ленина).

Научный руководитель –
доктор технических наук, профессор Брусакова И. А.

Официальные оппоненты:
доктор технических наук, профессор Муха Ю. П.,
кандидат технических наук, доцент Антонюк П.Е.

Ведущая организация – Санкт-Петербургский филиал института океанологии
им. П. П. Ширшова РАН

Защита диссертации состоится «23» мая 2007 г. в 10.00 часов на
заседании диссертационного совета Д 212.238.06 Санкт-Петербургского
государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им В. И. Ульянова
(Ленина) по адресу: 197376, г. Санкт-Петербург, ул. Проф. Попова, 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан «20» апреля 2007 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Юлдашев З.М.

2007А
11650

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Среди задач, решаемых научным приборостроением, важное место занимает задача создания методов и средств алгоритмического и программно-аппаратного обеспечения результатов измерения метрологического анализа (МА) и метрологического синтеза (МС) измерительных цепей. Разработка алгоритмического и программно-аппаратного обеспечения связана с поиском новых возможностей достижения требуемой точности и достоверности результатов МА.

Измерения в гидроакустике сопровождаются мониторингом условий быстроменяющейся внешней среды. В этом случае проведение натурального эксперимента усложняется необходимостью учёта динамики изменений взаимосвязанных параметров среды. Но, к сожалению, до сих пор нет теоретически обоснованной процедуры проведения МА и МС гидроакустических измерений, которая определяется параметрами самого сигнала и параметрами среды. Данная проблема, к примеру, актуальна для измерения скорости течения доплеровскими измерителями, т.к. подобные приборы отсутствуют на российском рынке.

Таким образом, актуальной задачей в настоящее время является задача МС модели гидроакустического сигнала доплеровского измерителя скорости течения с требуемыми характеристиками. Под требуемыми характеристиками модели гидроакустического сигнала понимаются характеристики входного воздействия (частота и амплитуда синусоидального сигнала), а также взаимосвязанные характеристики среды (температура, солёность и т.д.). Требуемые характеристики описывают необходимый состав априорных знаний (АЗ).

Априорные знания о модели сигнала в диссертационной работе представляются в виде:

$$АЗ_M = АЗ_{M_r} \& АЗ_{M_{усл}} \quad (1)$$

где $АЗ_{M_r}$ – априорные знания о модели входного сигнала; $АЗ_{M_{усл}}$ – априорные знания о модели условий измерения (априорные знания о модели среды).

МС модели гидроакустического сигнала измерителя скорости течения осуществляется на основе описания элементарных преобразований сигнала в виде взаимосвязанных блоков. Под элементарным преобразованием модели гидроакустического сигнала понимается элемент множества преобразований модели гидроакустического сигнала (затухание, сдвиг частоты и т.д.). Под блоком в диссертационной работе понимается структурная единица МС модели гидроакустического сигнала измерителя скорости течения, которая реализует элементарное измерительное преобразование. Опорный блок - блок, реализующий первичное элементарное преобразование.

Критерием качества МС является минимум меры метрологической достоверности (ММД) результатов МА, определяемый как минимум ошибки неадекватности оценок МА.

В качестве адекватной модели гидроакустического сигнала измерителя скорости течения в диссертационной работе принята сформированная на основе натурального эксперимента модель гидроакустического сигнала при фиксированных условиях измерения. В качестве фиксированных условий измерения рассматриваются средние значения параметров среды в некоторый начальный момент времени. Тогда уровень ошибки неадекватности результатов МА определяется как разность между адекватной ММД результатов МА и неадекватной ММД результатов МА, полученной при МС модели гидроакустического сигнала. Соответственно, различным уровням ошибки неадекватности модели гидроакустического сигнала измерителя скорости течения можно сопоставить различные составы АЗ для МС модели гидроакустического сигнала



доплеровского измерителя скорости водного потока, из которых выбирается необходимый состав АЗ.

В диссертационной работе использовались теоретические и практические результаты работ Бреховских Л. М., Цветкова Э. И., Мухи Ю. П., Брусаковой И. А., Ковчина И. С.

Предметом исследования является алгоритмическое и программное обеспечение МС модели гидроакустического сигнала доплеровского измерителя скорости водного потока.

Объектами исследования являются характеристики модели входного гидроакустического сигнала и среды, а также взаимосвязи между ними.

Целью работы является исследование и разработка блочного метода МС модели гидроакустического сигнала доплеровского измерителя скорости водного потока на основании формализации правил описания её параметров, интегрированных по единой технологии программирования.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ существующих подходов к МС модели гидроакустического сигнала доплеровского измерителя скорости водного потока;
2. Разработать процедуру МС модели гидроакустического сигнала доплеровского измерителя скорости водного потока с использованием блочного метода МС модели гидроакустического сигнала;
3. Выбрать из существующих или разработать новую технологию программирования для реализации МС модели гидроакустического сигнала доплеровского измерителя скорости водного потока;
4. Разработать процедуру выбора необходимого состава АЗ для МС модели гидроакустического сигнала доплеровского измерителя скорости водного потока в зависимости от величин уровней ошибки неадекватности;
5. По результатам МА по уровням ошибки неадекватности результатов МА определить необходимый состав АЗ о модели гидроакустического воздействия и АЗ о модели условий измерений МС;
6. Реализовать блочный метод МС модели гидроакустического сигнала доплеровского измерителя скорости водного потока.

Методы исследования. В работе использовались общая теория вычислительных систем, математическое программирование, имитационное моделирование (ИМ), теоретико-множественный подход к описанию информационного пространства, реляционная алгебра, алгоритмическая теория измерений, общая теория графов, общая теория океанологических измерений.

Новые научные результаты:

1. Блочный метод МС модели гидроакустического сигнала доплеровского измерителя скорости водного потока с требуемыми характеристиками, отличающийся от существующих возможностью описания элементарных преобразований модели гидроакустического сигнала в виде взаимосвязанных блоков, интегрированных по единой технологии программирования.
2. Алгоритмическое обеспечение МС модели гидроакустического сигнала доплеровского измерителя скорости водного потока.
3. Методика выбора технологии программирования в зависимости от необходимого состава АЗ для МС модели гидроакустического сигнала доплеровского измерителя скорости водного потока.

Практическая ценность работы:

1. Предложенное алгоритмическое обеспечение позволяет количественно оценить ошибку неадекватности ММД результатов метрологического анализа при

связи модели гидроакустического сигнала доплеровского измерителя скорости водного потока, а также снизить ошибку неадекватности за счет выбора значений параметров модели сигнала.

2. Предложенная модель гидроакустического сигнала может быть использована для дальнейших исследований и экспериментов в гидроакустике при изучении скорости течения.
3. На основе блочного метода МС модели гидроакустического сигнала доплеровского измерителя скорости водного потока разработана методика проектирования системы управления базами априорных знаний (СУБАЗ) для МС модели гидроакустического сигнала.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Блочный метод МС модели гидроакустического сигнала доплеровского измерителя скорости водного потока с требуемыми характеристиками на основании формализации правил описания её взаимосвязанных параметров, интегрированных по единой технологии программирования.
2. Алгоритмическое обеспечение МС модели гидроакустического сигнала доплеровского измерителя скорости водного потока с требуемыми характеристиками.
3. Программное обеспечение МС модели гидроакустического сигнала доплеровского измерителя скорости водного потока с требуемыми характеристиками.

Внедрение результатов. Разработанные в ходе диссертационного исследования метод, а также алгоритмические и программные средства используется в научно-исследовательской работе по теме, указанной в акте об использовании результатов работы в Санкт-Петербургском филиале института океанологии им. П.П. Ширшова Российской Академии Наук.

Апробация результатов работы. Научные и практические результаты диссертационной работы публиковались в Вестнике Метрологической Академии (Санкт-Петербургское отделение), а также докладывались и обсуждались на Международных научно-технических конференциях по мягким вычислениям и измерениям (SMC2003, SMC2004, SMC2005, SMC2006), на Международной научно-технической конференции «Системный анализ в проектировании и управлении» (Санкт-Петербург, 2005), Всероссийской научно-технической конференции «Управление и информационные технологии» (УИТ-2005, УИТ-2006), Всероссийской научно-технической конференции «Современные проблемы прикладной информатики» (Санкт-Петербург, 2006).

Достоверность результатов работы обеспечивается результатами эксперимента на ЭВМ, обоснованным применением теоретических положений, использованных при проведении расчетов и апробациях материалов на Международных и Всероссийских научно-технических конференциях и кафедральных семинарах.

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 15 научных работ, из них - 5 статей (одна статья включена в перечень изданий, рекомендуемых ВАК), 3 депонированных рукописи и 7 работ в трудах международных и всероссийских конференций.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырёх разделов, заключения, списка литературы, включающего 98 наименований, заключения и одного приложения. Основная часть работы изложена на 110 страницах машинописного текста. Работа содержит 31 рисунок и 9 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цель и основные задачи исследования, приводится общая характеристика работы, указываются научная новизна и практическая ценность результатов.

В первом разделе рассматриваются существующие подходы к синтезу модели гидроакустического сигнала доплеровского измерителя скорости водного потока и технологии программирования для синтеза модели гидроакустического сигнала.

Известно несколько подходов к синтезу модели гидроакустического сигнала доплеровского измерителя скорости водного потока с требуемыми характеристиками. Наиболее известными являются два подхода – синтез на основе множества алгоритмов преобразования и структурный метод метрологического синтеза модели гидроакустического сигнала. В диссертационной работе проводится сравнительный анализ этих подходов (табл. 1).

Программно-аппаратный МС модели гидроакустического сигнала необходимо сопровождать технологией программирования. В диссертационной работе дается сравнительный анализ технологий программирования, применимых для МС модели гидроакустического сигнала доплеровского измерителя скорости течения (табл. 2).

Анализ существующих подходов и технологий программирования синтеза модели гидроакустического сигнала доплеровского измерителя скорости течения выявил необходимость разработки единого подхода к метрологическому синтезу модели гидроакустического сигнала, заключающийся в возможности перестройки взаимосвязей между параметрами сигнала.

Таблица 1. Сравнительный анализ подходов к метрологическому синтезу модели гидроакустического сигнала доплеровского измерителя скорости водного потока.

Подходы к метрологическому синтезу и их характеристика	
Метрологический синтез на основе множества алгоритмов преобразования	Структурный метод метрологического синтеза
1. Возможность проведения МА с определением оценок достоверности. 2. Метод гарантирует определение оптимального по принятому критерию алгоритма преобразования гидроакустического сигнала. В качестве критерия принимается максимальная достоверность результатов МА. 3. Необходимость перебора всех возможных алгоритмов преобразования, что может потребовать недопустимо много времени. Основные затраты времени – выполнение МА, т.к. для каждого алгоритма необходимо определить вид процедуры оценивания.	1. Легкость применения компьютерных средств представления информации. 2. Нет возможности провести метрологический анализ системы с оценкой достоверности результатов МА. 3. Метод гарантирует определение оптимальной структуры. Оптимальность структуры определяется принятым уровнем детализации АЗ модели гидроакустического сигнала доплеровского измерителя скорости водного потока.

Таблица 2. Сравнительный анализ технологий программирования, применимых для МС модели гидроакустического сигнала доплеровских измерителей скорости водного потока.

Технология программирования	Характеристика технологии программирования
Языки функционального программирования	Богатый набор средств построения символьных структур данных: предикаты, фреймы, сети и объекты. Синтаксис ориентировался на устаревшее представление об архитектуре компьютера.
Языки логического программирования	Строится логическая модель, которая, как правило, может быть использована для решения не одной, а ряда задач предметной области. Модели имеют достаточно сложные конструкции и содержат избыточность данных.
Традиционные языки программирования	Высокая эффективность, связанная с их близостью к традиционной машинной архитектуре. Ориентированны в основном на численные алгоритмы, слабо применимы для работы с символьными и логическими данными.

Во втором разделе описаны физические характеристики среды, задающие модель условий измерения при синтезе гидроакустического сигнала доплеровского измерителя скорости водного потока, представлен блочный метод метрологического синтеза модели гидроакустического сигнала доплеровского измерителя скорости течения, приводится методика выбора технологии программирования в зависимости от свойств модели представления априорных знаний (МПАЭ) гидроакустического сигнала.

В работе были проанализированы физические характеристики среды, влияющие на гидроакустический сигнал доплеровского измерителя скорости водного потока. Следствием этого влияния является его ослабление и зашумление. Физические характеристики среды и их влияние на гидроакустический сигнал были представлены в виде таблицы (табл. 3).

Таблица 3. Физические характеристики среды, влияющие на гидроакустический сигнал линейного доплеровского измерителя скорости водного потока.

Физическая характеристика среды	Влияние характеристики среды на гидроакустический сигнал
1. Расстояние	Ослабление сигнала
2. Неоднородности плотности	Ослабление сигнала
3. Наличие случайных неоднородностей	Ослабление сигнала
4. Коэффициент отражения	Ослабление сигнала
5. Шумы океана	Зашумление сигнала

Для решения задачи МС модели гидроакустического сигнала доплеровского измерителя скорости водного потока необходимо спроектировать модель входного гидроакустического сигнала, а также множество преобразований и трансформаций гидроакустического сигнала (откликов среды).

Была определена номенклатура базовых элементарных преобразований блочного метода метрологического синтеза модели гидроакустического сигнала доплеровского измерителя скорости водного потока (табл. 4).

Таблица 4. Номенклатура базовых элементарных преобразований блочного метода метрологического синтеза гидроакустического сигнала

Операции	Функции преобразования
Наложение шума	$f_{result} = f_{signal} + f_{noise}$ $f_{result} = f_{signal} / f_{noise}$
Затухание сигнала	$f_{\lambda} = \exp(-R)$
Сдвиг частоты	$f_{result} = f_{signal} \cdot f_d$

Блочный метод синтеза модели гидроакустического сигнала доплеровского измерителя скорости водного потока.

1) *Получение и формализация АЗ о входном воздействии и АЗ об условиях измерения*

Формализация осуществляется в ходе реляционного проектирования и описывается кортежем АЗ.

$$АЗ_{\gamma} \{АЗ_{\gamma P}, АЗ_{\gamma PD}, АЗ_{\gamma DEP}\}, \quad (2)$$

где АЗ_{γP} (АЗ Properties) – упорядоченная совокупность параметров, описывающих модель гидроакустического сигнала доплеровского измерителя скорости водного потока; АЗ_{γPD} (АЗ Properties Diapasons) – упорядоченная совокупность диапазонов параметров, входящих в модель гидроакустического сигнала доплеровского измерителя скорости водного потока; АЗ_{γDEP} (АЗ Dependences) – упорядоченная совокупность зависимостей и отношений параметров, входящих в модель гидроакустического сигнала доплеровского измерителя скорости водного потока.

Априори также известно, к какой из процедур преобразования сигнала относится каждый из параметров.

2) *Формирование блоков из АЗ для метрологического синтеза модели гидроакустического сигнала доплеровского измерителя*

2.1) *Выбор опорного блока*

Под опорным блоком понимается тот, который является первичным преобразованием при МС модели гидроакустического сигнала.

2.2) *Выделение блоков на основе анализа АЗ.*

2.3) *Получения графа зависимостей между блоками.*

Под параметрами блоков понимаются параметры сигнала: частота и амплитуда, а также параметры условий измерений, температура, соленость, расстояние и т.д.

Анализируются функциональные зависимости между параметрами блоков, и формируется граф на основе АЗ о зависимостях между блоками. Рёбра графа будут описываться зависимостями между параметрами блоков, а вершинами графа выступают блоки, описываемые своими входными и выходными параметрами, а также функциями преобразования модели сигнала.

3) *Формирование структурной схемы на основе построения связей между блоками*

Под формированием структурной схемы понимается выбор порядка следования блоков в схеме. Критерием качества выступает максимальная достоверность результатов МА. Таким образом, задача сводится к нахождению такой структуры, которая обеспечивала бы максимальную достоверность результатов МА. Алгоритм нахождения оценок достоверности результатов МА представлен в разделе 3 диссертационной работы.

Для формирования структурной схемы используется алгоритм поиска пути минимальной длины по графу, проходящий через все вершины (Гамильтонов путь). В качестве одного из способов известен «жадный алгоритм».

Предложенный метод можно представляется в виде схемы (рис. 1).

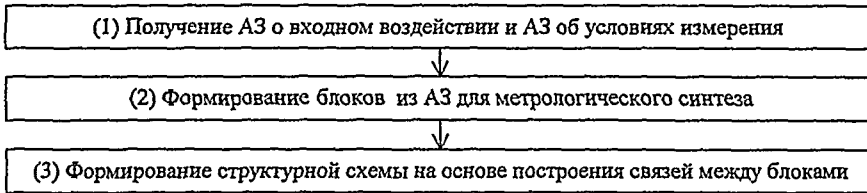


Рис. 1 Структурная схема блочного метода МС модели гидроакустического сигнала доплеровского измерителя скорости течения.

Рассмотрим пример работы метода для гидроакустического сигнала линейного доплеровского измерителя скорости водного потока. Диапазоны изменения параметров среды были взяты из работ, посвященных исследованию доплеровских измерителей скорости течения.

1) АЗ модели гидроакустического сигнала, в этом случае, можно определить короткем.

$$АЗ \{f_{signal}, A_{signal}, P_{noise}, f_d, C_{30}, T, S, R, V; f_{signal} \in [75000; 3000000]; A_{signal} \in [1; 5],$$

$$T \in [0; 30], S \in [2; 42], R \in (0; 1] V \in [0; 2]; f_{signal} = f_{signal}(A_{signal}),$$

$$f_{exp} = f_{exp}(R), f_d = f_d(f_{signal}, V, C_{30}), C_{30} = f_c(T, S, R), f_{\Sigma}, f_d \} \quad (3)$$

где f_{signal} – частота зондирующего гидроакустического сигнала, Гц; A_{signal} – амплитуда зондирующего гидроакустического сигнала; P_{noise} – мощность шума для заданной частоты сигнала, Вт; f_d – доплеровская частота сдвига, Гц; C_{30} – скорость звука в воде, м/с; T – температура воды, °С; S – соленость воды, е.п.с. (‰); R – расстояние от излучателя до конечной точки, м; V – скорость течения, м/с; $f_{signal}(A_{signal})$ – функциональная (синусоидальная) зависимость сигнала от амплитуды сигнала A_{signal} ; $f_{exp}(R)$ – функциональная (экспоненциальная) зависимость затухания от расстояния R ; $f_d(f_{signal}, V, C_{30})$ – функциональная зависимость сдвига частоты от частоты сигнала f_{signal} , скорости течения V и скорости звука в воде C_{30} ; $f_c(T, S, R)$ – функциональная зависимость скорости звука C_{30} от параметров среды – температуры T , солености S , расстояния R ; f_{Σ} – функция наложения шума на полезный сигнал (сумматор), f_d – функция сдвига частоты.

Синусоидальный сигнал определяется формулой:

$$f_{signal} = A_{signal} \sin(x), \quad (4)$$

Приведем функциональные зависимости между параметрами среды.

Из гидроакустики известно, что убывание интенсивности звука происходит благодаря наличию таких явлений как поглощение (переход звуковой энергии в тепловую энергию) и рассеяние (уход звуковой энергии в другие направления). Оба эти явления приводят к одному и тому же эффекту – экспоненциальному убыванию амплитуды звуковой волны по мере ее удаления от излучателя:

$$f_{exp} = e^{-R}, \quad (5)$$

Кроме того, из теории гидроакустических измерений известно, что между изменением частоты сигнала и скоростью течения – линейная зависимость. Изменение частоты называется доплеровским сдвигом, который выражается формулой:

$$f_d = f_{signal}(V/C_{30}), \quad (6)$$

Как известно из теории сигналов, «белый» шум задается спектральной плотностью мощности. В качестве параметра, характеризующего зашумление сигнала, в работе выбрана мощность шума для заданной частоты сигнала.

Для наложения шума на сигнал будем использовать сумматор f_{Σ} .

Сдвиг частоты определяется формулой:

$$f_d = f_{\text{signal}} - f_d. \quad (7)$$

Согласно функциональной зависимости между скоростью звука, температурой, солёностью и расстоянием известно, что скорость звука можно определить по эмпирической формуле (Medwin, 1975):

$$C_{30} = 1449,2 + 4,6T - 0,055T^2 + 0,00029T^3 + (0,0134T)(S-35) + 0,016R \quad (8)$$

2) Опорным блоком был выбран генератор синусоидального сигнала, а блоки были описаны совокупностью параметров и их диапазонов. На основе зависимостей между параметрами был сформирован начальный граф (рис. 2).

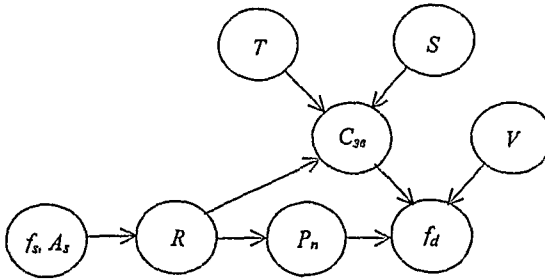


Рис. 2 Граф АЗ модели гидроакустического сигнала и условий измерения доплеровского измерителя скорости водного потока

3) На основе алгоритма были получены возможные пути обхода по графу.

Для удобства были введены обозначения:

блок входного воздействия: $V_1 \rightarrow \{f_{\text{signal}}, A_{\text{signal}}\}$; блок затухания сигнала: $V_2 \rightarrow \{R\}$;

блок зашумления сигнала: $V_3 \rightarrow \{P_{\text{noise}}\}$; блок сдвига сигнала: $V_4 \rightarrow \{f_d\}$;

блок учёта влияние температуры, солёности и расстояния на скорость звука: $V_5 \rightarrow \{C_{30}\}$;

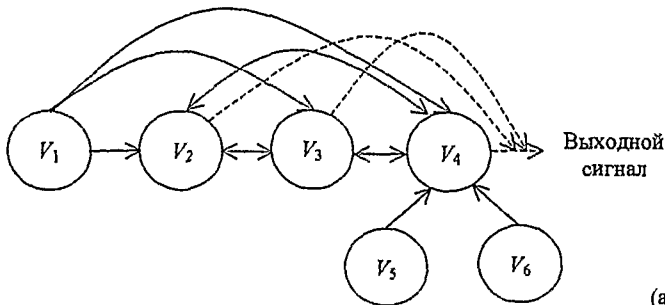
блок учёта скорости течения: $V_6 \rightarrow \{V\}$.

Возможные пути обхода по графу: $V_1 \rightarrow V_2 \rightarrow V_3 \rightarrow V_4$; $V_1 \rightarrow V_2 \rightarrow V_4 \rightarrow V_3$;

$V_1 \rightarrow V_3 \rightarrow V_2 \rightarrow V_4$; $V_1 \rightarrow V_3 \rightarrow V_4 \rightarrow V_2$;

$V_1 \rightarrow V_4 \rightarrow V_2 \rightarrow V_3$; $V_1 \rightarrow V_4 \rightarrow V_3 \rightarrow V_2$;

Следующие пути зафиксированы: $V_5 \rightarrow V_4$; $V_6 \rightarrow V_4$.



(а)

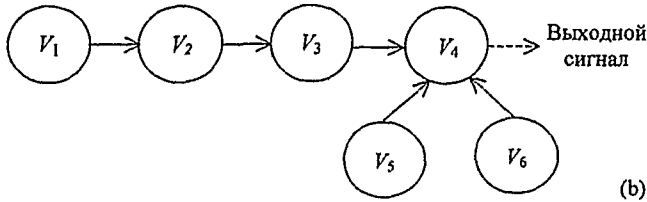


Рис. 3 Граф для определения минимального пути: а – возможные пути, б – путь минимальной длины.

Для рассматриваемого примера граф будет иметь вид (рис. 3, а).

Максимальная достоверность результатов МА обеспечивается по следующему пути:

$$\{f_{\text{signal}}, A_{\text{signal}}\} \rightarrow \{R\} \rightarrow \{P_{\text{noise}}\} \rightarrow \{f_d\} \quad (\text{рис. 3, б})$$

В результате была получена схема для МС модели гидроакустического сигнала (рис. 4).

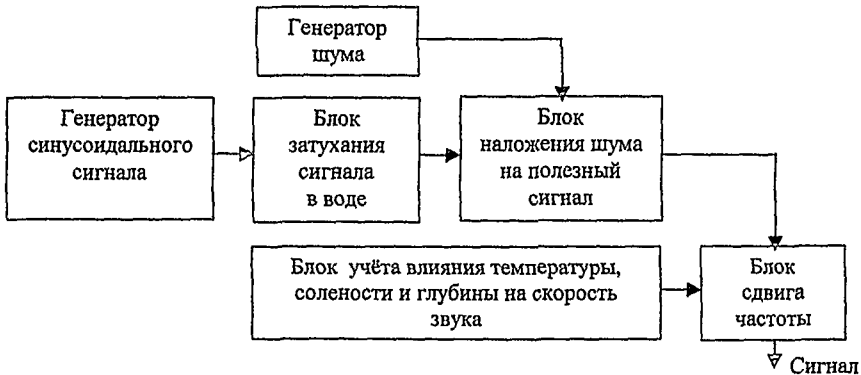


Рис. 4 Структурная схема для МС модели гидроакустического сигнала доплеровского измерителя скорости водного потока

Для предложенного метода была решена задача выбора технологии программирования для МС модели гидроакустического сигнала.

Под технологией программирования понимается совокупность программных средств, необходимых для адекватного синтеза модели гидроакустического сигнала. Критерием качества является максимум достоверности результатов МА. АЗ входного воздействия и АЗ условий измерения при формировании модели гидроакустического сигнала доплеровского измерителя представляется в МПАЗ. Поэтому при разработке методики выбора технологии программирования были учтены особенности МПАЗ.

В работе были сформулированы этапы выбора технологии программирования при синтезе модели гидроакустического сигнала доплеровского измерителя скорости водного потока.

1. Построение МПАЗ гидроакустического сигнала доплеровского измерителя скорости водного потока.

Для структурирования АЗ модели гидроакустического сигнала доплеровского измерителя скорости водного потока используют их представление в виде графической

диаграммы (рис. 2) и отображение АЗ на различные типы моделей представления знаний. МПАЗ может быть нескольких типов. Наиболее известны производные модели, семантические сети, сетевые модели, фреймовые модели, логические (алгоритмические) модели, модели на основе нечетких и лингвистических переменных.

2. Выявления основных свойств МПАЗ.

К основным свойствам МПАЗ относятся:

- 1) Количество связей между параметрами сигнала и условий измерения.
- 2) Количество факторов и условий.

В работе приводятся рекомендации по выбору технологии программирования в зависимости от свойств МПАЗ гидроакустического сигнала (табл. 5).

Таблица 5. Рекомендации по выбору технологии программирования в зависимости от свойств МПАЗ гидроакустического сигнала.

Свойства МПАЗ	Значение свойства	Технология программирования	Значение свойства	Технология программирования
Количество связей	<25	Функциональное программирование	>25	
Количество фактов	<20	Логическое программирование	>20	Объектно-ориентированное программирование
Количество условий	<10	Объектно-ориентированное программирование	>10	Логическое программирование

3. Анализ существующих технологий программирования:

- выявление типов данных, поддерживаемых технологией программирования;
- возможность хранения большого объема данных, если это необходимо;
- способы доступа к данным.

В зависимости от задач, для решения которых используется синтезируемая модель сигнала, осуществляется анализ технологии программирования.

Выбор технологии программирования основан на выявлении максимального количества свойств технологии программирования, удовлетворяющих требованиям. Для этого строится таблица в виде матрицы (табл. 6).

Таблица 6. Матрица выбора технологий программирования для синтеза модели гидроакустического сигнала.

Технология программирования	Значение свойства 1	Значение свойства 2	...	Значение свойства L
Технология 1				
Технология 2				
...				
Технология K				

На пересечении матрицы ставятся либо "1", если технология соответствует и "0", если нет. Результатом будет являться та технология, соответствующая строка матрицы которой содержит максимальное количество "1".

В третьем разделе проведен метрологический анализ на основе блочного метода синтеза модели гидроакустического сигнала доплеровского измерителя скорости течения, исследованы оценки достоверности результатов МА, а также найдены зависимости уровней ошибки неадекватности результатов МА от параметров модели гидроакустического сигнала и модели условий измерений; установлен необходимый состав АЗ по уровням ошибок неадекватности результатов МА.

Целью метрологического анализа является нахождение оценки меры метрологической достоверности, которая определяется по формуле:

$$\delta \theta[\Delta\lambda_j^*] = \theta[\Delta\lambda_j^*] - \theta^*[\Delta\lambda_j^*] \quad (9)$$

где $\theta[\Delta\lambda_j^*]$ – метрологическая характеристика результата МА;

$\theta^*[\Delta\lambda_j^*]$ – оценка метрологической характеристики погрешности результата измерения.

При проведении МА в качестве ММД результатов МА $\delta\theta^*[\Delta\lambda_j^*]$ могут выступать ММД оценки математического ожидания (МО) – $\delta M^*[\Delta\lambda_j^*]$, ММД оценки среднеквадратического отклонения (СКО) – $\delta D^{1/2*}[\Delta\lambda_j^*]$ и ММД оценки интервальной вероятности погрешности – $\delta P^*[\Delta\lambda_j^*]$. Ошибки могут быть обусловлены неадекватностью используемых моделей $\delta_{на}[\Delta\lambda_j^*]$ и неидеальностью выполняемых преобразований $\delta_{ин}[\Delta\lambda_j^*]$ при МС сигнала (рис. 5).

Для нахождения ММД результатов МА проводилось имитационное моделирование. Так как имитационное моделирование проводилось вычислительными средствами, то было принято, что инструментальная составляющая ММД результатов МА равно нулю.

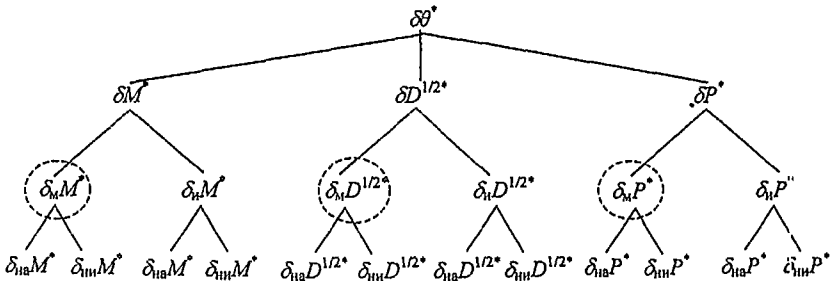


Рис. 5 Классификация ММД результатов МА

Для исследования была выбрана методическая составляющая ММД результатов МА, а именно было проведено исследование ММД неадекватности в зависимости от изменения параметров гидроакустического сигнала и параметров условий измерения. Класс исследуемых ошибок был представлен в виде поддерева (рис. 6).

Рассматривалось зависимость от следующих параметров моделей гидроакустического сигнала и условий измерения:

$$f_{signal}, A_{signal}, T, S, R$$

где f_{signal} – частота зондирующего гидроакустического сигнала, Гц; A_{signal} – амплитуда зондирующего

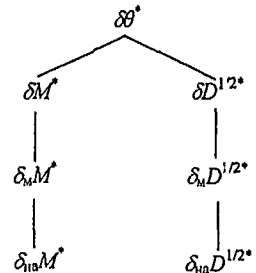


Рис. 6 Ошибки неадекватности, исследованные в работе

гидроакустического сигнала; T – температура воды, $^{\circ}\text{C}$; S – соленость воды, е.п.с. (‰); R – расстояние, м.

Каждый параметр задавался в своём интервале.

В качестве адекватной модели гидроакустического сигнала доплеровского измерителя скорости водного потока в диссертационной работе принята сформированная на основе натурального эксперимента модель гидроакустического сигнала при фиксированных значениях входного гидроакустического сигнала и условий измерения.

Под фиксированными условиями измерения понимаются средние значения параметров входного сигнала и среды, в некоторый начальный момент времени:

$$f_{\text{signal}}=1500000\text{Гц}; A_{\text{signal}}=3; T=13.5^{\circ}\text{C}; S=20\%; R=0.5\text{м}.$$

Для адекватной и неадекватной модели в ходе ИМ получают ММД результатов МА. Тогда уровень ошибки неадекватности будет определяться как разность между адекватной ММД результатов МА и неадекватной ММД результатов МА, полученной при МС модели гидроакустического сигнала.

$$\Delta_{\text{на}}M^* = \delta_{\text{адек}}M^* - \delta_{\text{на}}M^*, \quad (10)$$

$$\Delta_{\text{на}}D^{1/2*} = |\delta_{\text{адек}}D^{1/2*} - \delta_{\text{на}}D^{1/2*}|, \quad (11)$$

где $\delta_{\text{адек}}M^*$ – адекватные значения ММД оценки математического ожидания при МА; $\delta_{\text{адек}}D^{1/2*}$ – адекватные значения ММД оценки среднеквадратического отклонения модели при МА.

Для наглядности в работе были представлены зависимости от двух факторов уровня ошибок неадекватности в виде поверхностей (рис. 7)

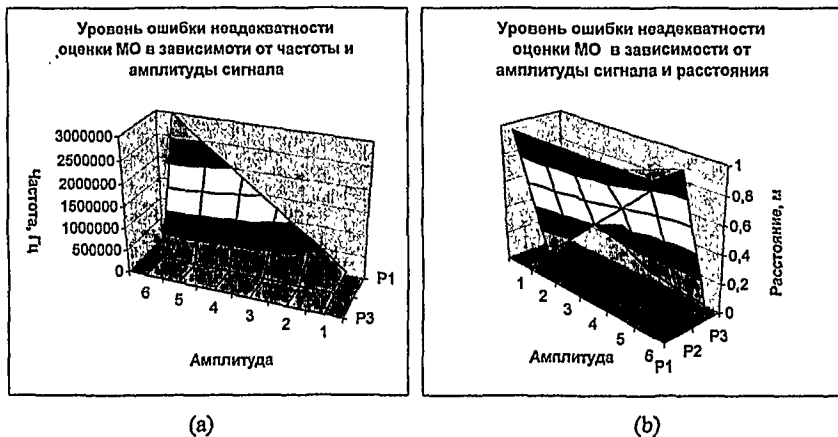


Рис. 7 Зависимости уровня ошибок неадекватности оценки МО от параметров составляющих сигнала: а- зависимость уровня ошибки неадекватности оценки МО от частоты и амплитуды сигнала; б - зависимость уровня ошибки неадекватности оценки МО от амплитуды сигнала и расстояния; P1, P2, P3 – уровни ошибки неадекватности оценки МО.

Для удобства уровень ошибки неадекватности оценок МО и СКО был выражен в процентах (табл. 7).

Таблица 7. Уровни ошибки неадекватности оценки МО при изменении параметров

Диапазон частоты, Гц	[75000; 660000]	[660000; 1245000]	[1245000; 1830000]	[1830000; 2415000]	[2415000; 3000000]
Уровень ошибки неадекватности оценки МО, %	1-1.5	1.5-1.7	1.7-2	2	2-2.5
Уровень ошибки неадекватности оценки СКО, %	0.5-0.8	0.8-1	1-1.5	1.5	1.5-1.7
Диапазон амплитуды сигнала	[1; 1.8]	[1.8; 2.6]	[2.6; 3.4]	[3.4; 4.2]	[4.2; 5]
Уровень ошибки неадекватности оценки МО, %	5-7	7	7	8	8
Уровень ошибки неадекватности оценки СКО, %	3.5-4	4.5	4.5-6	6-7	7
Диапазон расстояния, м	[0; 0.2]	[0.2; 0.4]	[0.4; 0.6]	[0.6; 0.8]	[0.8; 1]
Уровень ошибки неадекватности оценки МО, %	1-1.5	1.5-2	2-3	3-4	4-5
Уровень ошибки неадекватности оценки СКО, %	0.4-0.5	0.5-0.7	0.7-0.8	0.8-1	1-1.2
Диапазон солёности, ‰	[2; 10]	[10; 18]	[18; 26]	[26; 34]	[34; 42]
Уровень ошибки неадекватности оценки МО, %	7	8-9	10	10.5-11	11
Уровень ошибки неадекватности оценки СКО, %	0.1-0.6	0.6	2-3	3-3.2	3.2
Диапазон температуры, °С	[-3; 3.6]	[3.6; 10.2]	[10.2; 16.8]	[16.8; 23.4]	[23.4; 30]
Уровень ошибки неадекватности оценки МО, %	1-1.5	1.5	1.5-3.5	3.5-3	3.5-3
Уровень ошибки неадекватности оценки СКО, %	0.8-1	1	1-2.5	2.5-2.7	2.7-3

На основе анализа зависимостей уровней ошибок неадекватности от нескольких параметров можно установить необходимый состав АЗ, который будет обеспечивать заданный уровень ошибки неадекватности оценки МО и СКО при МС модели гидроакустического сигнала линейного доплеровского измерителя скорости течения (табл. 8). Из таблицы видно, что максимальная неадекватность модели обусловлена параметром солёности.

Таблица 8. Состав АЗ на различных уровнях неадекватности оценки МО.

Уровень ошибки неадекватности	Диапазон частоты, Гц	Диапазон амплитуды, В	Диапазон расстояния, м	Диапазон солености, ‰	Диапазон температуры, °С
3%	[75000; 100000]	[1; 1.2]	[0; 0.3]	[2; 12]	[1; 4]
5%	[150000; 500000]	[1.4; 1.6]	[0.3; 0.8]	[15; 18]	[5; 18]
10%	[500000; 1500000]	[1.8; 2]	[0.7; 0.9]	[20; 38]	[20; 22]

В четвертом разделе описана реализация модели гидроакустического сигнала доплеровского измерителя скорости водного потока, приводится методика проектирования системы управления базами априорных знаний на основе блочного метода МС модели гидроакустического сигнала доплеровского измерителя скорости водного потока.

Приводятся этапы создания виртуального инструмента в среде LabVIEW. Описаны программные модули, разработанные в среде LabVIEW 6.1, моделирующие гидроакустический сигнал доплеровского измерителя скорости водного потока в зависимости от параметров среды. Модули объединены общим интерфейсом.

Фотография с экрана смоделированного гидроакустического сигнала представлена на рис. 8. На рисунке А – амплитуда сигнала, t – ось времени.

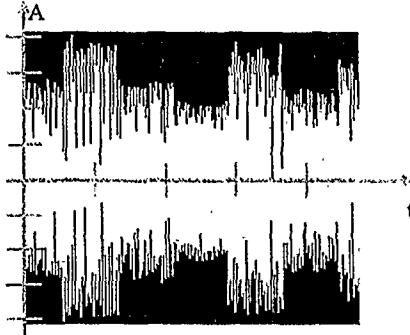


Рис. 8 Фотография с экрана смоделированного гидроакустического сигнала Доплеровского измерителя водного потока.

Приводится структурная схема и интерфейс работы модулей с пользователем. Представлено краткое руководство пользователя по работе с модулями.

Представлен подход к проектированию СУБАЗ на основе блочного метода МС модели гидроакустического сигнала доплеровского измерителя скорости течения. Данные СУБАЗ представляются в виде семантической сети. Приведены фрагменты представления данных в СУБАЗ. Представлена структурная схема СУБАЗ. В основе СУБАЗ лежит экспертная система, которая консультирует пользователя в процессе добавления, модификации и извлечения данных из базы априорных знаний. Предлагается три типа запросов к системе. Представлен интерфейс СУБАЗ. Макет системы реализован средствами языков PROLOG, Microsoft SQL, C++, Borland C++ Builder.

В заключении подводятся итоги проведенной работы. Сформулированы теоретические тезисы и результаты практических исследований.

Основные результаты работы

1. Приведён сравнительный анализ подходов к метрологическому синтезу модели гидроакустического сигнала доплеровского измерителя скорости водного потока, который выявил отсутствие программного и алгоритмического обеспечения метрологического синтеза модели гидроакустического сигнала доплеровского измерителя скорости водного потока.
2. Проведен анализ физических характеристик среды, влияющих на гидроакустический сигнал при исследовании скорости течения.
3. Предложен блочный метод метрологического синтеза модели гидроакустического сигнала доплеровского измерителя скорости водного потока, обеспечивающий максимальную достоверность результатов МА, полученную на основе имитационного моделирования.
4. Проведен метрологический анализ на основе блочного метода метрологического синтеза модели гидроакустического сигнала доплеровского измерителя скорости водного потока. В рамках МА были исследованы уровни ошибки неадекватности результатов МА на множестве параметров модели гидроакустического сигнала доплеровского измерителя скорости водного потока.
5. Реализована методика выбора необходимого состава АЗ для обеспечения принятого критерия качества метрологического синтеза модели гидроакустического сигнала доплеровского измерителя скорости водного потока.
6. На основе блочного метода метрологического синтеза модели гидроакустического сигнала разработано алгоритмическое и программное обеспечение метрологического синтеза модели гидроакустического сигнала.
7. Разработана методика проектирования системы управления базами априорных знаний на основе блочного метода метрологического синтеза модели гидроакустического сигнала доплеровского измерителя скорости водного потока с использованием принятого критерия качества метрологического синтеза. Реализован макет системы средствами языков PROLOG, Microsoft SQL, C++, Borland C++ Builder.

Список публикаций по теме диссертации

1. Мамаева, С.О. Виртуальные инструменты для моделирования акустического сигнала в среде LabVIEW // Вестник Санкт-Петербургского Отделения Метрологической Академии России. – 2003 – №11. – С. 27 – 31.
2. Мамаева, С.О. Моделирование измерительного канала акустического доплеровского профилографа течения / С.О. Мамаева // Мягкие вычисления и измерения SMC'2003: Сб. докл. Междунар. науч. техн. конф., г. С-Петербург., 25-27 июня, 2003. — СПб.: Изд-во СПбГЭТУ. 2003. — С. 11-18.
3. Мамаева, С.О. Методика создания виртуального инструмента для моделирования условий, факторов и процедур исследования акустического сигнала / С.О. Мамаева // Мягкие вычисления и измерения SMC'2004: Сб. докл. Междунар. науч. техн. конф., г. С-Петербург., 17-19 июня, 2004. — СПб.: Изд-во СПбГЭТУ. 2004. – 2 т. – С. 37-38.
4. Мамаева, С.О. Модели представления априорных знаний для задач метрологического анализа с использованием языка программирования PROLOG / С.О. Мамаева // Мягкие вычисления и измерения SMC'2005: Сб. докл. Междунар. науч. техн. конф., г. С-Петербург., 27-29 июня, 2005. — СПб.: Изд-во СПбГЭТУ. 2005. – 2 т. – С. 22-23.
5. Мамаева, С.О. Разработка моделей представления априорных знаний для решения задач метрологического анализа / С.О. Мамаева // Системный анализ в проектировании

- и управлении: Сб. докл. Междунар. науч. техн. конф., г. С-Петербург., 30 июня – 8 июля, 2005. — СПб.: Изд-во СПбГПТУ. 2005. — С. 310-312.
6. Мамаева, С.О. Построение моделей представления априорных знаний для решения задач метрологического анализа / С.О. Мамаева // Управление и информационные технологии УИТ-2005: Сб. докл. Всеросс. науч. техн. конф., г. С-Петербург., 30 июня – 2 июля, 2005. — СПб.: Изд-во СПбГЭТУ. 2005. — С. 45-49.
7. Мамаева, С.О. Оценка достоверности результатов метрологического анализа виртуальной измерительной цепи / С.О. Мамаева // Мягкие вычисления и измерения SMC'2006: Сб. докл. Междунар. науч. техн. конф., г. С-Петербург., 27-29 июня, 2006. — СПб.: Изд-во СПбГЭТУ. 2006. — 2 т. — С. 40-42.
8. Мамаева, С.О. Управление базами знаний интеллектуальных информационно-измерительных систем при моделировании измерительных систем / С.О. Мамаева // Управление и информационные технологии УИТ-2006: Сб. докл. Всеросс. науч. техн. конф., г. С-Петербург., 10-12 окт., 2005. — СПб.: Изд-во СПбГЭТУ. 2005. — С. 159-162.
9. Мамаева, С.О. Разработка системы управления базами знаний для интеллектуальных информационно-измерительных систем с целью повышения достоверности результатов / С.О. Мамаева // Безопасность жизнедеятельности: Сб. статей соискателей учёных степеней и званий. — СПб.: МАНЭБ. — 2006. — №11. — С. 36 – 44.
10. Мамаева, С.О. Разработка системы управления базой знаний для интеллектуальных информационно-измерительных систем с целью повышения достоверности результатов метрологического анализа / С.О. Мамаева // СПб. гос. электротех. ун-т. — СПб., 2006. — бс. — Библиогр.: 7 назв. — Деп. в ВИНТИ 21.02.2006, № 173 – В2006.
11. Мамаева, С.О. Нахождение достоверности результатов измерений в виртуальной измерительной цепи / С.О. Мамаева // СПб. гос. электротех. ун-т. — СПб., 2006. — 7с. — Библиогр.: 6 назв. — Деп. в ВИНТИ 20.04.2006, № 534 – В2006.
12. Мамаева, С.О. Нахождение достоверности результатов измерений в виртуальной измерительной цепи / С.О. Мамаева // СПб. гос. электротех. ун-т. — СПб., 2006. — 7с. — Библиогр.: 6 назв. — Деп. в ВИНТИ 17.05.2006, № 668 – В2006.
13. Мамаева, С.О. Методика выбора технологии программирования моделей представления измерительных знаний метрологического анализа / С.О. Мамаева // Современные проблемы прикладной информатики: Сб. науч. статей — СПб.: Изд-во СПбГИЭУ – 2006. — С. 100-102.
14. Мамаева, С.О. Системы управления базами измерительных знаний / С.О. Мамаева // Системы управления и информационные технологии – 2006 – №4.1(26). — С. 171-175.
15. Мамаева, С.О. Алгоритм структурирования моделей представления знаний для информационных систем / С.О. Мамаева // Проектирования информационных систем: Сб. научных трудов СПбГИЭУ — СПб.: Изд-во СПбГИЭУ – 2007. — С. 232-236.

Подписано в печать 17.04.07. Формат 60*84 1/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Печ. л. 1,0.
Тираж 100 экз. Заказ 33.

Отпечатано с готового оригинал-макета
в типографии Издательства СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
197376, С.-Петербург, ул. Проф. Попова, 5

2009A
11650

№ 11650

2

466