

На правах рукописи

**ГУЛИЕВ ЭЛЬКИН ВИДАДИ ОГЛЫ**

**АНАЛИЗ И СИНТЕЗ САМОКОРРЕКТИРУЮЩИХ  
ФИЛЬТРОВ ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ НЕПРЕРЫВНЫХ  
СИГНАЛОВ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЯХ**

Специальность: 3337.01 – Информационно-измерительные и  
управляющие системы

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

диссертации на соискание ученой степени  
доктора философии по технике

Баку – 2013

Работа выполнена на кафедре «Автоматики, телемеханики и электроники» Азербайджанской Государственной Нефтяной Академии.

**Научный руководитель:**

Заслуженный деятель науки,  
Доктор технических наук, профессор

**И.М.Абдуллаев**

**Официальные оппоненты:**

Доктор технических наук, профессор  
Доктор философии по технике

**Исмаилов И.М  
Рзаев А.Г**

**Ведущая организация:** Кафедра «Информации и компьютерной техники» Сумгаитского Государственного Университета.

**Защита состоится** 27 сентября 2013 года в 13<sup>00</sup> на заседании диссертационного совета D.01.121 в Институте Кибернетики Академии Наук Азербайджана по адресу: AZ 1141 г.Баку, улица Бахтияра Вагабзаде 9.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института Кибернетики АН Азербайджана.

Автореферат разослан \_\_\_\_\_ 2013г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,



## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** В условиях рыночной экономики улучшение технико-экономических показателей производства и качества выпускаемой продукции на основе создания и внедрения прогрессивных технологий выдвигается на первый план. Это в свою очередь требует существенного прогресса в области автоматизации и информатизации контроля и управления технологическими процессами (ТП) и производством в целом. Решение этой крупномасштабной и сложной задачи непосредственно связано с повышением эффективности информационно-измерительных систем (ИИС), являющихся главным звеном информационного обслуживания объекта автоматизации (ОА).

ИИС представляет собой средство обмена информацией между ОА и системой управления, включает совокупность измерительных, вычислительных и других технических средств, которые выполняют измерительные, информационные и логические функции. В настоящее время ИИС осуществляет более 80% всех производимых измерений. Поэтому исследования и разработки, направленные на развитие теоретических, методологических и инженерных аспектов создания высокоэффективных ИИС, приобретает особую актуальность.

**Цель работы** состоит в исследовании, разработке и применении робастных способов и средств корректирующей фильтрации (КФ) в рамках создания современных ИИС для цифровых динамических измерений непрерывных физических величин.

**Для достижения поставленной цели** исследования и разработки в диссертационной работе были проведены в следующих основных направлениях:

- Уточнение постановки обратной задачи в измерительных процедурах с учетом формирования нестационарных непрерывных измерительных сообщений (ИНС) на выходе динамической системы «ОА плюс датчик информации»
- Разработка способов повышения точности цифровых динамических измерений ИНС на основе корректирующей фильтрации
- Разработка и исследование методики синтеза робастных корректирующих фильтров для различных этапов и субтрактов тракта обмена измери-

тельной информацией между пользователем и динамической системой «ОА плюс датчик информации»

- Разработка алгоритмов функционирования и рациональных путей аппаратно-программной реализации ИВС, базирующихся на предложенных способах повышения точности цифровых динамических измерений ИНС

- Оценка эффективности предложенных и разработанных способов и алгоритмов КФ путем проведения вычислительного эксперимента

- Изыскание рациональных областей применения разработанных способов и средств повышения точности цифровых динамических измерений ИНС

#### **Основные положения, выносимые на защиту:**

- Постановка обратной задачи динамических измерений нестационарных измерительных сообщений

- Способы повышения точности динамических цифровых измерений физических величин, структурные и алгоритмические решения по их реализации

- Методики синтеза робастных корректирующих фильтров во временной и частотной областях для воспроизведения тренда и стационарной составляющей нестационарных измерительных сигналов на фоне различного рода шумов

- Принципы построения и сбалансированной аппаратно-программной реализации самокорректирующихся ИВС для динамических цифровых измерений нестационарных измерительных сообщений

- Методика оценки метрологической эффективности предложенных и разработанных средств корректирующей фильтрации по результатам вычислительного эксперимента.

**Методы исследования.** Исследования проводились с использованием фундаментальных положений теории вероятностей и математической статистики, теории погрешностей, теории фильтрации, вычислительной математики, теории случайных процессов и теоретических основ информационно-вычислительной техники.

**Научная новизна работы** заключается в следующем:

- Методика синтеза во временной области робастного цифрового корректирующего фильтра для воспроизведения тренда нестационарных измерительных сообщений

- Методика синтеза в частотной области робастного цифрового корректирующего фильтра для воспроизведения сигнала со стационарным приращением на фоне цветного шума

- Принципы построения самокорректирующихся измерительно-вычислительных устройств, базирующихся на предложенных способах повышения точности цифровых динамических измерений физических величин

**Практическая ценность работы.** Диссертационная работа является проблемно-ориентированной и поэтому разработанные в ней способы, методологические, структурные и алгоритмические решения полезны не только для достижения поставленной цели, но и для решения общей задачи информационно-вычислительной техники, т.е. повышения точности и достоверности измерений нестационарных и сильно зашумленных физических величин, которые характерны для большинства реальных динамических систем «ОА плюс датчик информации».

Диссертационная работа выполнена в рамках, проводимых в научно-исследовательской лаборатории «Локальные системы автоматизации» Азербайджанской Государственной Нефтяной Академии (АГНА) госбюджетной работы (№№ госрегистрации 0101Az00396, 0111Az2040).

Результаты, полученные в работе, в течении последних трех лет используются в учебном процессе кафедры «Автоматика, телемеханика и электроника» АГНА.

**Апробация работы.** Основные результаты диссертационной работы были доложены, обсуждены и одобрены на следующих научных конференциях и семинарах:

- 1) Azərbaycan Texniki Universiteti, Milli Aviasiya Akademiyası, Beynəlxalq Elmi-Texniki Konfransın Materialları, Bakı, 4-6 iyun 2007.,
- 2) Aspirantların və gənc tədqiqatçıların XII Respublika Elmi konfransı. Bakı, 2007.

**Публикации.** По теме диссертационной работы опубликованы 10 научных трудов, из них 3 статьи опубликованы за рубежом.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы из 102 наименований и приложения. Общий объем диссертации составляет 112 страниц, включая 14 рисунков, 11 таблиц.

**Во введении** проведены исследования с целью обоснования разработки и применение робастных способов и средств корректирующей фильтрации в рамках создания современных ИВС для цифровых динамических из-

мерений непрерывных физических величин, дано обоснование актуальности тематики диссертационной работы.

**В первой главе** изложены методологические аспекты повышения качества и эффективности средств динамических измерений, дана модель ИВС для динамических измерений (рис.1), разработаны модели измерительных сообщений. Для разработки обобщенной модели процесса на выходе ИНС использован принцип формирующей фильтрации.

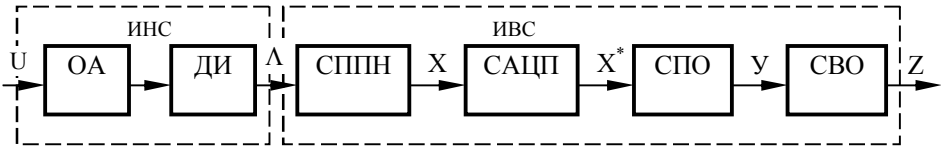


Рис. 1. Обобщенная структура ИВС для динамических измерений непрерывных измерительных сообщений

ИНС – источник непрерывных измерительных сообщений, состоящий из ОА плюс датчик информации (ДИ); СПНН – субтракт первичного преобразования и нормирования; САЦП – субтракт аналого-цифрового преобразования; СПО – субтракт предварительной обработки; СВО – субтракт вторичной обработки.

Для удобства дальнейших рассуждений и пользуясь формулировкой обратной задачи в сперва примем гипотезу о линейности оператора  $\Phi[\cdot]$  (рис.2). Такая гипотеза обосновывается тем, что разработчики и изготовители ДИ и СПНН всегда попытаются обеспечить линейность (квазилинейность) этих СИ. Так, в случае линейности оператора  $\Phi[\cdot]$  получаем выражение:

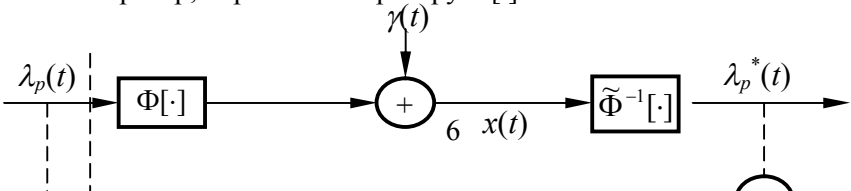
$$x(t) = \Phi[\lambda_p(t)] + \Phi[\bar{v}(t)] + \varepsilon(t) + \varepsilon^0(t) . \tag{1}$$

Здесь индекс "p" используется для задания модели полезной составляющей измерительного сообщения.

Из выражения (1) приведенная к выходу СПНН погрешность будет иметь вид

$$\gamma(t) = \Phi[\bar{v}(t)] + \varepsilon(t) + \varepsilon^0(t) \tag{2}$$

Тогда с учетом (1) и (2) упрощенная схема СПНН с решением обратной задачи будет иметь вид, показанный на рисунке 2, где  $\tilde{\Phi}^{-1}[\cdot]$  – приближенный оператор, обратный оператору  $\Phi[\cdot]$ .



В работе даны два варианта формулировки обратной задачи:

– первый вариант, наиболее естественный для измерительной техники, сводится к отысканию такого оператора  $\tilde{\Phi}^{-1}[\cdot]$ , который преобразует процесс  $x(t)$  в процесс  $\lambda_p^x(t)$  по критерию минимума выпуклого функционала от погрешности  $e(t)$ , т.е.,

$$\tilde{\Phi}^{-1} = \arg_{\Phi^{-1}} \min F\{\tilde{\Phi}^{-1}[x(t)] - \lambda_p(t)\}; \quad (3)$$

– второй вариант постановки обратной задачи сформулирован как задача статистического оценивания

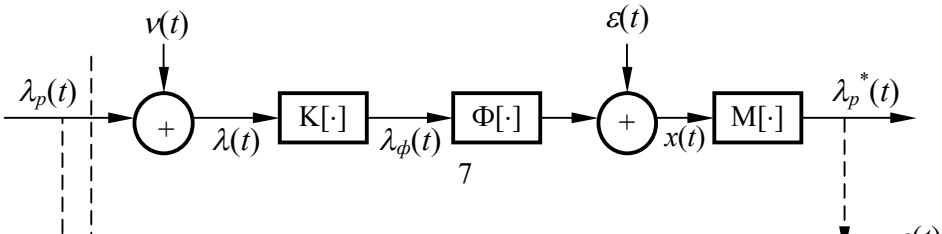
$$\lambda_p^*(t) = \arg \min_{\lambda_p(t) \in \Lambda} F\{\Phi[\lambda_p(t)] - x(t)\}, \quad (4)$$

Как будет показано далее, решение задачи коррекции в указанных выше постановках требует априорной информации относительно статистических характеристик полезных сигналов и шумов, а также ведет к проблеме синтеза приближенного обратного оператора  $\tilde{\Phi}^{-1}[\cdot]$ .

Поэтому дадим еще одну постановку задачи коррекции, ориентированную на смягчение требований к объему априорной информации.

Для формулировки такой постановки введем понятие корректирующей формирующей фильтрации. Под корректирующим формирующим фильтром (КФФ) подразумевается динамическое звено, вводимое в измерительную цепь и формирующее предварительно отфильтрованный процесс из измерительного сообщения, преобразование которого с помощью корректируемого субтракта дает желаемую оценку информативного параметра сигнала измерительной информации.

Упрощенная схема СПИН с КФФ приведена на рисунке 3.



**Во второй главе** описаны особенности решения обратной задачи динамических измерений. Сама по себе обратная задача измерений является классической задачей, которая всегда привлекает внимание ученых и специалистов, занимающихся исследованием и разработкой методов и средств извлечения информации из смеси полезного сигнала и шума.

Упрощенная схема формулировки обратной задачи в первой постановке показана на рис. 4.

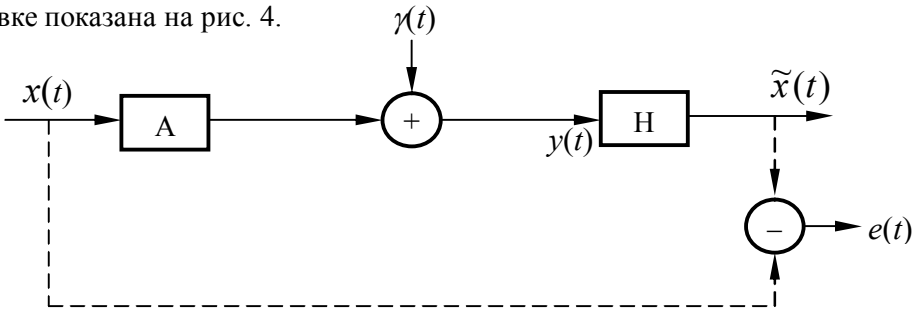


Рис.4. Упрощенная схема формулировки обратной задачи в первой постановке

Согласно данной формулировке, наиболее естественной для измерительной техники, решение обратной задачи сводится к задаче отыскания такого оператора  $H$ , который преобразует процесс  $y(t)$  в процесс  $x(t)$  по критерию минимума функционала от погрешности  $e(t)$ :

$$\tilde{H} = \arg_H \min F[H[y(t)] - x(t)]. \quad (5)$$

Процесс  $\gamma(t)$ , представляющий собой приведенную к выходу средства измерения (СИ) погрешность, представлен в следующем виде

$$\gamma(t) = \eta(t) + A[u(t) + \varepsilon(t)], \quad (6)$$

Несмотря на корректность постановки обратной задачи в виде (5), ее решение методами оптимальной фильтрации требует богатой априорной информации об статистических характеристиках процессов  $x(t)$  и  $\gamma(t)$  даже при принятии гипотезы об их стационарности.



В качестве модели нестационарного процесса  $x(t)$ , характерного для широкого класса источников измерительных сообщений, целесообразно использовать модель вида

$$x(t) = \bar{x}(t) + x^0(t) + x'(t), \quad (7)$$

где  $\bar{x}(t)$  – неслучайная (регулярная) составляющая;  $x^0(t)$  – центрированный случайный гауссовский процесс;  $x'(t)$  усеченный канонический ряд.

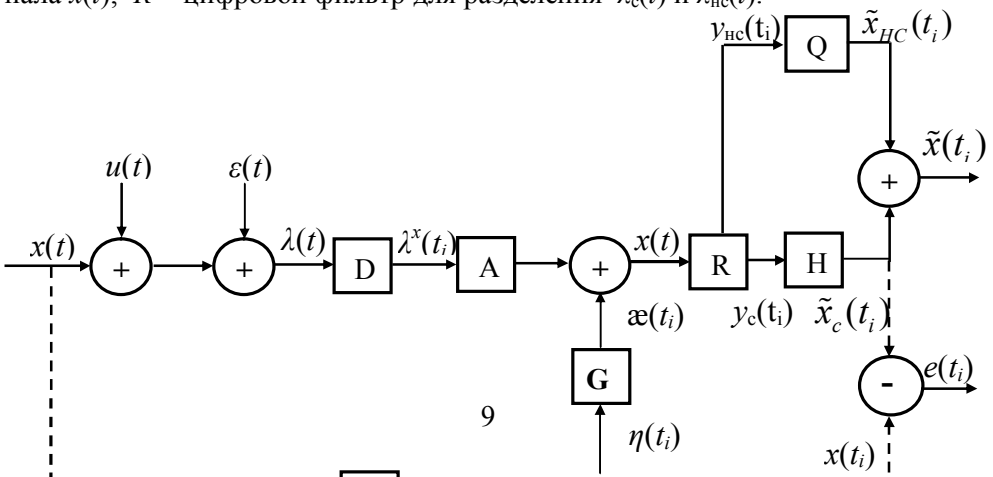
Учитывая, что практически все методы синтеза оптимального фильтра в частотной области предполагают стационарность и центрированность полезного сигнала и шума, а также отсутствие корреляции между ними, решение задачи (5) возможно применительно к стационарным составляющим  $\lambda(t)$ .

При этом воспроизведение составляющей

$$\lambda_{nc}(t) = \bar{x}(t) + x'(t) \quad (8)$$

нуждается в ином подходе – фильтрации не в частотной, а во временной области. Поэтому решение обратной задачи динамических измерений ведет к своеобразному комплексированию фильтрации в частотной и во временной областях. Ниже нами предпринята попытка решения этой сложной задачи – применительно к цифровым динамическим измерениям нестационарных физических процессов.

С целью формулировки решения обратной задачи с комплексированием воспользуемся упрощенной схемой, приведенной на рис. 5, где:  $D$  и  $D_0$  – реальный и идеальный дискретизаторы, соответственно;  $A$  – цифровой измеритель мгновенного значения аналогового сигнала;  $G$  и  $H$  – корректирующие фильтры;  $Q$  – фильтр для воспроизведения тренда измеряемого сигнала  $x(t)$ ;  $R$  – цифровой фильтр для разделения  $\lambda_c(t)$  и  $\lambda_{nc}(t)$ .



Далее для использования корректирующего фильтра для воспроизведения тренда измерительного сигнала, сперва был проведен анализ во временной области, а потом для синтеза корректирующих фильтров  $G$  и  $H$  в субтракте передачи стационарных сигнала  $y_c(t_i)$  и шума  $x(t_i)$ , частотной области.

Во время эксперимента были оценены дисперсии входной  $\sigma_v^2$  и выходной  $\sigma_g^2$  последовательностей. Отношение  $\sigma_v^2 / \sigma_g^2$  было взято как критерий подавления входной последовательности в энергетическом смысле. Фрагмент результатов эксперимента приведен в таблице 1.

Таблица 1.  
Оценка эффективности фильтра конечных разностей  
в подавлении низкочастотных шумов

| $N$ | $\alpha T_0$ | $\sigma_v^2 / \sigma_g^2$ |       |       |
|-----|--------------|---------------------------|-------|-------|
|     |              | 0,01                      | 0,1   | 1,0   |
| 1   |              | 27,68                     | 14,68 | 2,96  |
| 2   |              | 54,56                     | 27,36 | 4,64  |
| 3   |              | 73,6                      | 35,84 | 9,60  |
| 4   |              | 81,92                     | 40,96 | 20,48 |

Приведенные в табл. 1 данные показывают, что рассматриваемый эффект подавления улучшается по мере уменьшения  $T_0$  и увеличения порядка конечной разности  $N$ . Достижение такой совокупной эффективности возможно благодаря нормированию конечных разностей  $\{\Delta^N v(t_i)\}$  с коэффициентом  $2^N$ . Такое нормирование необходимо для предотвращения эффекта усиления высокочастотных составляющих фильтром конечных разностей (подобно дифференциатору).

**В третьей главе** даны основные принципы построения и алгоритмы функционирования самокорректирующихся цифровых измерительных устройств. Исследованы погрешности цифровых измерительных устройств (ЦИУ), способы корректирующей фильтрации при цифровых динамических измерениях физических величин.

При динамических измерениях на погрешность измерений, выполняемых с использованием ЦИУ, оказывают влияние не только статическая погрешность  $\Delta$  и значение измеряемой величины  $X$ , но и скорость измерений последней во времени. В качестве основных факторов, вызывающих это влияние, покажем следующие:

- 1) изменение измеряемой величины за цикл преобразования;
- 2) инерционность реальных элементов ЦИУ;
- 3) дискретизация измеряемой величины во времени.

Известные методы повышения точности измерений имеют тот принципиальный недостаток, что они ориентированы на подавление погрешностей самого измерительного устройства, игнорируя при этом зашумленность входного измерительного сообщения. В условиях системного применения ЦИУ такой подход не всегда приемлем, ибо при этом главной задачей организации ИК является воспроизведение сигнала измерительной информации, который характеризует состояние динамической системы «объект плюс датчик».

Таким образом, задачи корректирующей фильтрации применительно к ЦИУ системного назначения должны быть ориентированы на достижение корректности решения обратной задачи цифровых динамических измерений в постановках (3) и (4).

Возможны два подхода к достижению этой цели:

1) местная корректирующая фильтрация в рамках ЦИУ, позволяющая подавить погрешности до уровня, пренебрежимо малого по сравнению шумами в измерительном сообщении  $\lambda(t)$ , относительного которого решается обратная задача динамических измерений;

2) общая корректирующая фильтрация в рамках ИК, включающего ЦИУ, для наилучшего воспроизведения сигнала измерительной информации, содержащегося в  $\lambda(t)$ .

Первый подход является применимым к случаю, когда для группы ИНС (см. рис.1) используется общий ЦИУ, т.е. субтракт «СППН - САЦП».

Второй подход применим к случаю, когда ЦИУ входит в датчик информации, т.е. каждый ИНС снабжен индивидуальным ЦИУ. Учитывая, что

реализация первого подхода созвучна с решением общей проблемы повышения точности ЦИУ, как универсального измерительного устройства, а реализация второго подхода – с основными направлениями исследований и разработок в настоящей диссертационной работе, рассмотрим оба подхода.

Структурная схема самокорректирующегося ЦИУ, реализующего описанный выше способ, приведена на рис.6, где: ИНС – источник непрерывного измерительного сообщения; ЯВХ – ячейка выборки – хранения; «х» - масштабирующее звено (например, измерительный усилитель с программным управлением коэффициента усиления);  $H$  – импульсный фильтр низких частот; «÷» нормирующее (делительное) звено; НЦИУ - нескорректированное ЦИУ.

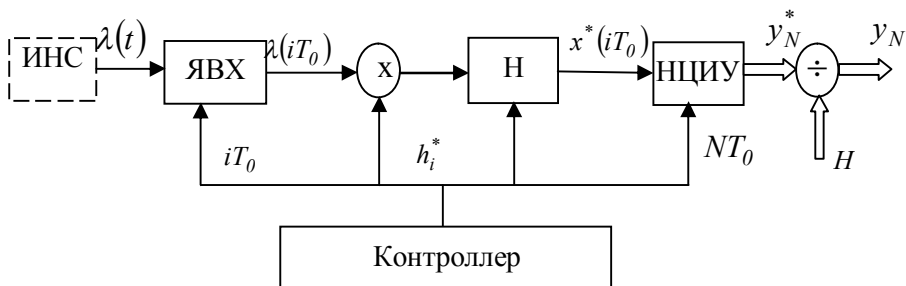


Рис.6. Структурная схема самокорректирующегося ЦИУ, реализующего первый способ

Структурная схема самокорректирующегося ЦИУ, реализующего второй способ, приведена на рис.7.

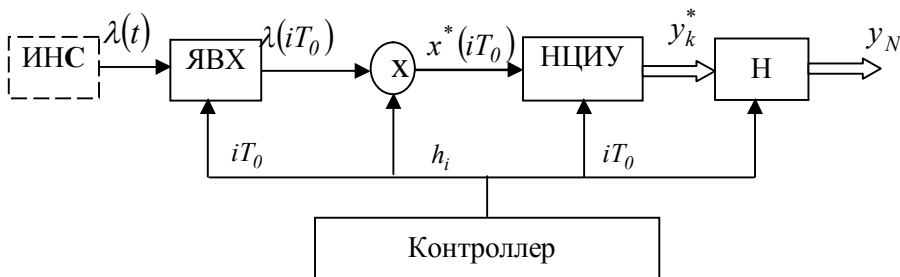


Рис 7. Структурная схема самокорректирующегося ЦИУ, реализующего второй способ

Основное отличие этой схемы от предыдущей в топологическом смысле заключается в подключении НЦИУ к выходу масштабирующего звена, а отличие в алгоритме функционирования – в проведении цифровых измерений каждого отсчета последовательности  $\{x^*(iT_0)\}$  внутри цикла коррекции. Длительность цикла коррекции для обеих схем одинакова и равна памяти (N) фильтра Н.

**В четвертой главе** осуществлен анализ, метрологической эффективности самокорректирующихся цифровых измерительных устройств, рассмотрены модели погрешностей (шумов) в измерительных каналах ЦИУ, дана оценка метрологической эффективности типовых корректирующих фильтров.

При описании погрешностей СИ, как правило, необходимо решение трех комплексных задач:

- установление вида модели погрешности, дающей представление о ее характерных свойствах;
- установление характеристик модели погрешности, необходимых для количественной оценки погрешности в реальных условиях измерений;
- установление алгоритма расчета показателей точности СИ по характеристикам модели погрешности.

Результат вычислительного эксперимента для оценки  $\bar{K}_{\Delta,r}$  при различных порядках  $r$  и фильтруемых входных последовательностях приведены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2

Зависимость  $\bar{K}_{\Delta,r}$  от  $r$  при фильтрации равномерно распределенных случайных чисел

| $R$ | $\bar{K}_{\Delta,r}$ |
|-----|----------------------|
| 1   | 369,7                |

|   |        |
|---|--------|
| 2 | 1090,6 |
| 3 | 317,4  |
| 4 | 126,5  |

Таблица 3

Зависимость  $\bar{K}_{\Delta,r}$  от  $r$  при фильтрации нормально распределенных случайных чисел с нормированной корреляционной функцией вида  $e^{-\alpha|\tau|}$

| $\alpha T_0$<br>R | $\bar{K}_{\Delta,r}$ |      |      |
|-------------------|----------------------|------|------|
|                   | 0,01                 | 0,1  | 1,0  |
| 1                 | 467,4                | 52,4 | 27,6 |
| 2                 | 1213,0               | 93,5 | 34,2 |
| 3                 | 380,2                | 67,4 | 16,1 |
| 4                 | 611,8                | 82,9 | 8,3  |

Таблица 4

Зависимость  $K_{\Delta,r}^0$  от  $r$  при фильтрации нормально распределенных случайных чисел с нормированной корреляционной функцией вида  $e^{-\alpha|\tau|}$

| $\alpha T_0$<br>R | $K_{\Delta,r}^0$ |      |      |
|-------------------|------------------|------|------|
|                   | 0,01             | 0,1  | 1,0  |
| 1                 | 6,92             | 3,67 | 0,74 |
| 2                 | 3,41             | 1,71 | 0,29 |
| 3                 | 1,15             | 0,56 | 0,15 |
| 4                 | 0,32             | 0,16 | 0,08 |

Результаты вычисленного эксперимента, проведенного для оценки коэффициента подавления  $K_{\Delta,r}^0$  стационарного шума приведены в таблице 4.

Как видно из этой таблицы, по мере увеличения  $r$  эффективность подавления стационарного шума падает, что связано с АЧХ рассматриваемого фильтра. С целью исключения этого недостатка целесообразно перейти к супердискретизации означающей превышение в  $\eta$  раз частоты дискретизации по отношению к частоте, оцениваемой по теореме отсчетов.

Результаты вычисленного эксперимента для анализа эффекта супердискретизации приведена в таблице 5. Из этих данных вытекает положительное влияние супердискретизации на эффективность КФ конечных разностей.

Таблица 5

Зависимость  $K_{\Delta,r}^0$  от  $\eta$

| $\eta \backslash r$ | $K_{\Delta,r}^0$ |                   |                   |                     |                    |
|---------------------|------------------|-------------------|-------------------|---------------------|--------------------|
|                     | 1                | 2                 | 3                 | 4                   | 5                  |
| 1                   | 0,500            | 0,167             | 0,050             | 0,014               | 0,004              |
| 3                   | 8,696            | 14,286            | 19,608            | 25,641              | $30,3 \cdot 10^3$  |
| 5                   | 39,063           | 169,492           | 625,0             | $2,04 \cdot 10^3$   | $6,25 \cdot 10^3$  |
| 7                   | 105,820          | 909,091           | $6,2 \cdot 10^3$  | $40,0 \cdot 10^3$   | $227,2 \cdot 10^3$ |
| 9                   | 228,833          | $3,03 \cdot 10^3$ | $35,7 \cdot 10^3$ | $400,0 \cdot 10^3$  | $588,2 \cdot 10^3$ |
| 10                  | 315,457          | $5,26 \cdot 10^3$ | $76,9 \cdot 10^3$ | $1315,8 \cdot 10^3$ | $6667 \cdot 10^3$  |

При соответствующем выборе порядка КФ конечных разностей  $G$  остаточный шум представляет собой случайную последовательность со стационарными приращениями. Поэтому метрологическая эффективность КФ  $Q$  определяется коэффициентом  $K_q^0$  относительно подавления дисперсии разностной последовательности в полосе частот  $-\omega_0 \leq \omega \leq \omega_0$ .

В таблице 6 приведены требуемые значения  $N$ , обеспечивающие заданные степени подавления средней мощности входного шума в полосе частот  $-\omega_0 \leq \omega \leq \omega_0$  при различных  $r$ .

Ввиду того, что средняя мощность входного шума в  $C_{2r}'$  раз превращает среднюю мощность выходного шума в рассматриваемой полосе час-

тот, исходя из принципа суперпозиции энергетическую эффективность фильтра Q по отношению к фильтру G можно определить показателем

$$K_Q = C_{2r}^r \cdot K_{GQ}.$$

Таким образом, КФ обладает достаточно высокими метрологическими свойствами по подавлению мощностей как исходного  $\gamma(iT_0)$ , так и остаточного  $e(iT_0)$  шумов в полосе частот дискретизации. Показатели  $K_Q^0$  и  $K_{GQ}^0$  могут быть приближены к требуемым уровням, вытекающим из гарантированного подавления шумов, сбалансированным выбором параметров r и N (см. табл. 6).

Таблица 6

Требуемые значения N, обеспечивающие заданные степени подавления шума при различных r

| Заданные значения<br>$r$<br>$K_{GQ}^2$ | Требуемые значения N |        |        |        |
|--|----------------------|--------|--------|--------|
|  | $10^8$               | $10^7$ | $10^6$ | $10^5$ |
| 1                                      | 1061                 | 492    | 228    | 105    |
| 2                                      | 146                  | 92     | 57     | 35     |
| 3                                      | 69                   | 49     | 34     | 24     |
| 5                                      | 39                   | 30     | 23     | 18     |

Анализ, проведенный нами для  $r = \overline{1,4}$ ,  $M = \overline{1,3}$  показал, что при  $\eta = 100$  фильтр Q незначительно уступает фильтру Баттерворта по энергетическим свойствам подавления, а при  $M=1$  и  $r=1$  фильтр Q гораздо эффективнее, чем  $Q_B$ .

Отметим, что реализация КФ Q любого порядка требует одного умножителя и одного сумматора, а реализация фильтра Баттерворта порядка M в общем случае нуждается в 2M умножителях с плавающей запятой и от одного до M сумматорах.



Таким образом, проведенный выше анализ показывает достаточно высокую и регулируемую метрологическую эффективность синтезированных (глава 2) и разработанных (глава 3) КФ в направлении создания высокоточных ЦИУ. Ориентация на программную реализацию этих КФ открывает им путь применения в существующих и вновь создаваемых ЦИУ широкого назначения.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. На основании изучения состояния разработки методов и средств корректирующей фильтрации при динамических измерениях доказана возможность оценки по информативным параметрам сигнала в текущий момент времени, как наиболее информативным, составлены обобщенная структура ИВС для динамических измерений непрерывных измерительных сообщений.

2. Предложена обобщенная модель измерительных сообщений. Из этой модели получены три частные модели, в которых полезный сигнал представляется соответственно как регулярная функция времени, случайного стационарного процесса и нестационарного процесса. Исследованием этих моделей решены задачи корректирующей фильтрации в субтракте первичного преобразования и нормирования, коррекции с позиции решения обратной задачи измерений и с позиции корректирующей формулирующей фильтрации. (Дис: стр.17,28; [8])

3. Осуществлены синтез корректирующих фильтров для воспроизведения тренда измерительного сигнала, корректирующего фильтра в частотной области, и оценка их эффективности в подавлении низкочастотных шумов. (Дис: стр.36,40,42,50; [2,3,6])

4. Разработаны принципы построения и алгоритмы функционирования самокорректирующих ЦИУ, реализующих

предложенные способы решения задачи корректирующей фильтрации при цифровых динамических измерениях. (Дис: стр.58; [4])

5. Исследованы модели погрешностей (шумов) в измерительных каналах ЦИУ, оценена характеристика случайных погрешностей и значимости отдельных видов динамических погрешностей, предложена методика, с применением которой дана оценка метрологической эффективности разработанных корректирующих фильтров конечных разностей и фильтра низких частот и доказана их высокая эффективность при подавлении шумов в работе ЦИУ широкого назначения.

**Результаты, полученные в диссертационной работе отражены в следующих публикациях:**

1. Гулиев Э.В. Применение робастных алгоритмов. *Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası, Sosial Siyasi Problemlər, Bakı, 2004, с.25-27.*

2. Абдуллаев И.М, Джабиева А.Д, Мамедов Р.М, Саттаров К.А, Гулиев Э.В. Робастные корректирующие фильтры для преобразования и цифровой обработки нестационарных сигналов, *Azərbaycan Texniki Universiteti. Milli Aviasiya Akademiyası, Beynəlxalq Elmi-Texniki Konfransın Materialları, Bakı, 4-6 iyun 2007, с.155-158.*

3. Абдуллаев И.М, Гулиев Э.В. Синтез корректирующих фильтров для воспроизведения тренда нестационарных измерительных сообщений. *Azərbaycan Texniki Universiteti, Elmi Əsərlər fundamental elmlər, Bakı, 2007, ʔild 6, №2, с.23-27.*

4. Гулиев Э.В. Погрешности цифровых измерительных устройств. *Сумгайыт Дювлят Университети, Елми Хябярляр, Bakı, 2007, ʔild 7, №4, с.77-79.*

5. Гулиев Э.В., Алиев Р.Я. Гибридная информационная технология для анализа состояния вибрирующих объектов при неконтролируемых возмущениях. *Азәрбайҗан Али Техники Мяктябляринин Хябярлярини, Bakı, 2008, с.52-55.*

6. Абдуллаев И.М., Гулиев Э.В., Мамедов Р.М. Синтез робастного цифрового корректирующего фильтра для воспроизведения полезного сигнала на фоне цветного шума. *Азәрбайҗан Милли Елмляр Академийасынын Хябярлярини, Bakı, 2008, ʔild 18, №3, с.103-108.*

7. Гулиев Э.В. Цифровая корректирующая фильтрация тренда нестационарных процессов. Aspirantların və gənc tədqiqatçıların XII respublika elmi konfransının materialları, Bakı, 2008, c.136.

8. Гулиев Э.В. Постановка задачи корректирующей фильтрации сигнала измерительной информации в СППН. Естественные и технические науки, Москва, 2009, №2(40) ISSN1684-2626, с.285-287.

9. Гулиев Э.В. Постановка задачи корректирующей фильтрации сигнала измерительной информации в СППН. Аспирант и Соискатель, Москва, 2009, №3(51) ISSN 1608-9014, с.116-117.

10. Гулиев Э.В. Разработка методов и средств корректирующей фильтрации при цифровых динамических измерениях физических величин. Датчики и системы, Москва, 2012, №5(156), с.22-25.

**Вклад соискателя в работы, опубликованные в соавторстве:**

[2],[6]-методика синтеза робастных цифровых корректирующих фильтров.

[3]- обратная задача измерений нестационарных измерительных сообщений.

[5] –гибридная информативная технология с использованием искусственных нейронных сетей.

**QULİYEV ELKİN VIDADI OĞLU**  
**DİNAMİK ÖLÇMƏLƏRDƏ FASILƏSİZ SİQNALLARIN EMAL**  
**DƏQİQLİYİNİN ARTIRILMASI ÜÇÜN ÖZÜNÜ TƏSHİH EDƏN**  
**SÜZGƏCLƏRİN ANALİZİ VƏ SİNTEZİ**

**XÜLASƏ**

Dissertasiya işinin məqsədi informasiya-ölçmə sistemlərində (İÖS) ən geniş yayılmış fasiləsiz ölçmə siqnallarının “təhrifsiz” ötürülməsi və xətalərin (küylərin) effektiv söndürülməsini təmin edən rəqəmli təshihedici süzgülərin analizi və sintezi əsasında yüksək dəqiqliyə malik ölçmə vasitələrinin tədqiqi, işlənməsi və tətbiqidir.

Təshihedici süzülmə mövqeyindən ölçmələrin dəqiqliyinin artırılması üsul və vasitələri müqayisəli təhlil olunmuş və ümumiləşdirilmişdir.

Yeni metodika işlənmiş və onun əsasında fiziki kəmiyyətlərin rəqəmsal dinamik ölçmələrinin dəqiqliyinin yüksəldirilməsi üçün kvazi optimal təshihedici

süzgəclərin sintezi məsələlərinə baxılmışdır. Sintez olunmuş süzgəclərin mövcud süzgəclərlə müqayisəsi, təhlili nəticəsində onların yüksək effektivliyi təsdiq edilmişdir. Müasir ölçmə sistemlərində hesablayıcı texnikanın geniş tətbiqini nəzərə alaraq özünü korrektə edən rəqəmsal ölçmə qurgusunun metodoloji effektivliyi analiz edilmiş, qurulma prinsipi və fəaliyyət alqoritmi işlənmişdir.

Dissertasiyının nəzəri və təcrübi nəticələri Azərbaycan Dövlət Neft Akademiyasının “Avtomatika, telemexanika və elektronika” kafedrasında tədris prosesində istifadə olunur.

**QULIYEV ELKIN VIDADI**  
**ANALYSIS AND SYNTHESIS OF**  
**SELF-CORRECTING FILTERS FOR CONVERTING**  
**CONTINUOUS SIGNALS IN DYNAMIC MEASUREMENTS.**

**SUMMARY**

The aim of this thesis is to develop and implement based on the synthesis and analysis of high accuracy measurement tools providing widespread transmission of continuous measurement signals and effective noise reduction.

There were reviewed and summarized the means and the methods of improving the accuracy of measurements in a corrective filter.

The new technique has been developed on the basis of which was considered the synthesis of sub-optimal corrective filters to improve the accuracy of physical parameters in dynamic measurement. There was confirmed high efficiency of syn-

thesized filters compared to conventional filters. Taking into account the computing of the modern measuring devices, there was examined the efficiency of methodological self-correcting digital device, developed the principle of construction and the algorithm of working.

Theoretical and practical results of the thesis were used in work "Automation, telemechanics and electronics» department of the Azerbaijan State Oil Academy.

Əlyazması hüququnda

**QULİYEV ELKİN VİDADI OĞLU**

**DİNAMİK ÖLÇMƏLƏRDƏ FASILƏSİZ SİQNALLARIN EMAL  
DƏQİQLİYİNİN ARTIRILMASI ÜÇÜN ÖZÜNÜ TƏSHİH EDƏN  
SÜZGƏCLƏRİN ANALİZİ VƏ SİNTEZİ**

3333.01 – İnformasiya-ölçmə və idarətmə sistemləri

Texnika üzrə fəlsəfə doktoru alimlik  
dərəcəsi almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

**A V T O R E F E R A T I**

Bakı – 2013