

**Р. Н. Парахуда, Б.Я. Литвинов**

**ИНФОРМАЦИОННО – ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ  
СИСТЕМЫ**

**ПИСЬМЕННЫЕ ЛЕКЦИИ**

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
2002**

Министерство образования Российской Федерации  
Северо - Западный государственный заочный технический университет

**Р. Н. Парахуда, Б.Я. Литвинов**

## **ИНФОРМАЦИОННО – ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ**

**Утверждено редакционно - издательским советом университета  
в качестве письменных лекций**

**Санкт-Петербург  
2002**

УДК 681.518.3

**Парахуда Р. Н., Литвинов Б.Я.** Информационно-измерительные системы: Письменные лекции. - СПб.: СЗТУ, 2002, - 74с.

Письменные лекции соответствуют государственному образовательному стандарту дисциплины «Информационно-измерительные системы» направления «Стандартизация, сертификация и метрология».

В письменных лекциях рассматриваются вопросы, составляющие теоретические основы анализа и синтеза информационно-измерительных систем.

К темам, подлежащим изучению, отнесены основные принципы построения информационно-измерительных систем, базовые элементы технического и программного обеспечения, методы определения их метрологических характеристик, метрологическое обеспечение информационно-измерительных систем.

Письменные лекции предназначены для студентов специальности 190800 - "Метрология и метрологическое обеспечение".

Рецензенты: кафедра автоматизации производственных процессов СЗТУ (О.А. Готшалк, канд. техн. наук, доц.); Е.Д. Колтик, д-р техн. наук, проф., ст. науч. сотр. ФГУП "ВНИИМ им. Д. И. Менделеева".

© Северо-Западный государственный заочный технический университет, 2002

## Предисловие

Основная тенденция развития измерений в автоматизированном производстве – это переход к машинному контролю по адаптивным моделям, к применению более сложных управляющих и информационно-измерительных систем (ИИС).

В связи с этим резко возрастает значение метрологических характеристик измерительных каналов, учитывающих метрологические характеристики не только всех включенных в измерительный канал блоков, но и временные влияния каналов друг на друга.

Дисциплина «Информационно-измерительные системы» включена в учебный план подготовки специалиста по направлению 653800 - «Стандартизация, сертификация и метрология», специальности 190800 "Метрология и метрологическое обеспечение", так как подготавливает будущего инженера-метролога к решению задач анализа и синтеза информационно-измерительных систем, знакомит с особенностями технологии преобразования измеряемых величин в цифровую форму и проблемами метрологического обеспечения ИИС.

Изучение дисциплины основывается на знаниях, полученных в результате изучения дисциплин: "Высшая математика", "Информатика", "Физика", "Теоретическая метрология", "Методы и средства измерений, испытаний и контроля", "Метрологическое обеспечение", "Электротехника и электроника", "Автоматизация измерений и контроля", относится к группе специальных дисциплин и обеспечивает дальнейшую узкопрофессиональную подготовку инженера-метролога по специальности 190800 «Метрология и метрологическое обеспечение».

В результате изучения дисциплины студент должен иметь представление о проблемах системных измерений, особенностях построения информационно-измерительных систем и перспективах их развития; знать и уметь использовать теоретические основы анализа и синтеза информационно-измерительных систем, организацию взаимодействия и передачи информации между структурными элементами информационно-измерительных систем, а также способы обработки и отображения информации в ИИС.

На практических занятиях студент должен приобрести навыки проведения анализа качества ИИС и разработки метрологического обеспечения ИИС.

# 1. ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И ОСОБЕННОСТИ ИХ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ. НАЗНАЧЕНИЕ И ВИДЫ ИИС

[1, 4, 5, 8, 9]

## 1.1. Информационно-измерительные системы (ИИС)

Измерительные информационные технологии являются разновидностью информационных технологий и выделяются из этого обширного множества тем, что носят очевидный познавательный характер и реализуют специфические процедуры, присущие только им:

- получение исходной измерительной информации в результате взаимодействия первичных измерительных преобразователей (сенсоров) с объектом измерений;
- преобразование измерительной информации с заданной и гарантированной точностью;
- сопоставление сигналов измерительной информации с размерами общепринятых единиц измерения, оценка и представление характеристик остаточной неопределенности значений измеряемых величин.

Современные измерительные информационные технологии приобретают дополнительные свойства благодаря использованию аппаратных и программных средств искусственного интеллекта. Одной из важнейших задач развития измерительных информационных технологий является расширение номенклатуры измеряемых величин, обеспечение измерений в условиях воздействия “жестких” внешних факторов (высокая температура, большое давление, ионизирующее излучение и т.д.).

Решение подобных задач связано с усложнением структуры используемых средств измерений (СИ); созданием комплексов взаимосвязанных СИ и технических средств, необходимых для их функционирования. Современные объекты исследования характеризуются большим количеством параметров, изменяющихся подчас с большой скоростью.

Иногда, чтобы получить информацию о параметрах объекта, необходимо проводить комплексные измерения, а значение измеряемой величины получать расчетным путем на основе известных функциональных зависимостей между ней и величинами, подвергаемыми измерениям.

Указанные задачи успешно решаются с помощью информационных измерительных систем (ИИС), получивших широкое распространение. В настоящее время нет общепринятого однозначного определения, что такое ИИС. Среди существующих подходов к рассмотрению понятия ИИС следует выделить два основных.

Сущность одного подхода отражена в рекомендации по межгосударственной стандартизации РМГ 29-99 “ГСИ. Метрология. Основные термины и определения”, в которой ИИС рассматривается

как разновидность измерительной системы (ИС). В пункте 6.14 РМГ 29-99 приведено следующее определение:

**Измерительная система** - совокупность функционально объединенных мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей, ЭВМ и других технических средств, размещенных в разных точках контролируемого объекта и т.п. с целью измерений одной или нескольких физических величин, свойственных этому объекту, и выработки измерительных сигналов в разных целях.

*Примечания.*

1. В зависимости от назначения измерительные системы разделяют на измерительные информационные, измерительные контролирующие, измерительные управляющие системы и др.
2. Измерительную систему, перестраиваемую в зависимости от изменения измерительной задачи, называют гибкой измерительной системой (ГИС).

*Примеры:*

1. Измерительная система теплоэлектростанции, позволяющая получать измерительную информацию о ряде физических величин в разных энергоблоках. Она может содержать сотни измерительных каналов.
2. Радионавигационная система для определения местоположения различных объектов, состоящая из ряда измерительно-вычислительных комплексов, разнесенных в пространстве на значительное расстояние друг от друга.

На практике почти повсеместно применяется термин “информационно-измерительная система”, который, по мнению ряда видных метрологов, неверно отражает понятие об измерительной информационной системе.

При образовании термина метрологического характера на первом месте должен указываться основной терминологический элемент (в данном случае - измерительная), затем – дополнительный (информационная). Это положение и отражено в примечании к приведенному выше определению.

Сущность второго подхода отражена в определениях, приведенных в рекомендации МИ 2438-97 “ГСИ. Системы измерительные. Метрологическое обеспечение. Основные положения”.

**Измерительная система** – совокупность определенным образом соединенных между собой средств измерений и других технических устройств (компонентов измерительной системы), образующих измерительные каналы, реализующая процесс измерений и обеспечивающая автоматическое (автоматизированное) получение результатов измерений (выражаемых с помощью чисел или соответствующих им кодов) изменяющихся во времени и распределенных в пространстве физических величин, характеризующих определенные свойства (состояние) объекта измерений.

### *Примечания.*

1. Измерительные каналы могут входить в состав, как автономных измерительных систем, так и более сложных систем: контроля, диагностики, распознавания образов, других информационно-измерительных систем, а также автоматических систем управления технологическими процессами. В сложных системах целесообразно объединять измерительные каналы в отдельную подсистему с четко выраженными ее границами как со стороны входа (места подсоединения к объекту измерений), так и со стороны выхода (места получения результатов измерений).

2. Измерительные системы обладают основными признаками средств измерений и являются их специфической разновидностью.

ИС рассматривается как составная часть более сложных структур - ИИС, которые могут реализовывать следующие функции: измерительные информационные, логические (распознавания образов, контроль), диагностики, вычислительные.

Необходимо отметить один важный момент, отраженный в пункте 2 примечания к определению, данному в МИ 2438-97. ИС (а также и ИИС) рассматриваются как разновидность СИ. Согласно пункту 1 примечания к тому же определению, в сложных системах рекомендуется объединять измерительные каналы в отдельную подсистему с четко выраженными границами. Последнее обстоятельство связано с одной из особенностей ИИС. Комплектацию ИИС как единого, законченного изделия из частей, выпускаемых различными заводами-изготовителями, часто осуществляется только на месте эксплуатации.

В результате этого может отсутствовать заводская нормативная и техническая документация (технические условия), регламентирующая технические, в частности, метрологические требования к ИИС как единому изделию. Соответственно возникают трудности с проведением испытаний для целей утверждения типа.

Возможность развития, наращивания ИИС в процессе эксплуатации или возможность изменения ее состава (структуры) в зависимости от целей эксперимента, по существу затрудняет или исключает регламентацию требований к таким ИИС в отличие от обычных СИ, являющихся “завершенными” изделиями на момент выпуска их заводом-изготовителем. Для обеспечения соответствующей регламентации и осуществляется выделение подсистем в рамках более сложной ИИС. При дальнейшем изложении под сокращением ИИС будет пониматься термин “информационно-измерительная система” как наиболее распространенный и применяемый в МИ 2438-97. Название “информационная” указывает:

– на конечный продукт, получаемый при помощи ИИС. Конечным продуктом является именно информация – экспериментальная количественная информация о состоянии материальных объектов и о

процессах, протекающих в них, будь то сырье, готовые промышленные изделия, природные процессы или живые организмы;

– на принадлежность ИИС к более широкой области – информационной технике. Эта более широкая область имеет и другие составные части. Среди них вычислительная техника, техника связи и хранения информации, которые могут по отношению к ИИС являться потребителем информации, а могут и входить в состав ИИС. ИИС связывает мир физический с миром цифр и других знаков, из которых строятся математические формулы, различные сообщения и программы для ЭВМ.

Основной процесс эмпирического познания – измерение, при помощи которого получается первичная количественная информация. Поэтому к понятию “информационная” добавляется уточняющее “измерительная”.

Одним из условий рассмотрения СИ как системы является необходимость и целесообразность изменений его структуры. Изменения могут осуществляться как от применения к применению (многофункциональная система), так и в процессе применения (управляемая или адаптивная системы).

Если структура СИ неизменна и условия его использования остаются одинаковыми в течение периода эксплуатации, возможно определить модель СИ типа “вход-выход”. Например, многоканальные электронные СИ для измерения температуры серии 5150 фирмы Guildline имеют нормированные МХ и, с точки зрения потребителя, не рассматриваются с системных позиций. Автоматизация также не обязательно связана со структурированностью СИ, трактуемого как система. Компактный прибор, рассматриваемый как единое изделие, может быть высоко автоматизированным.

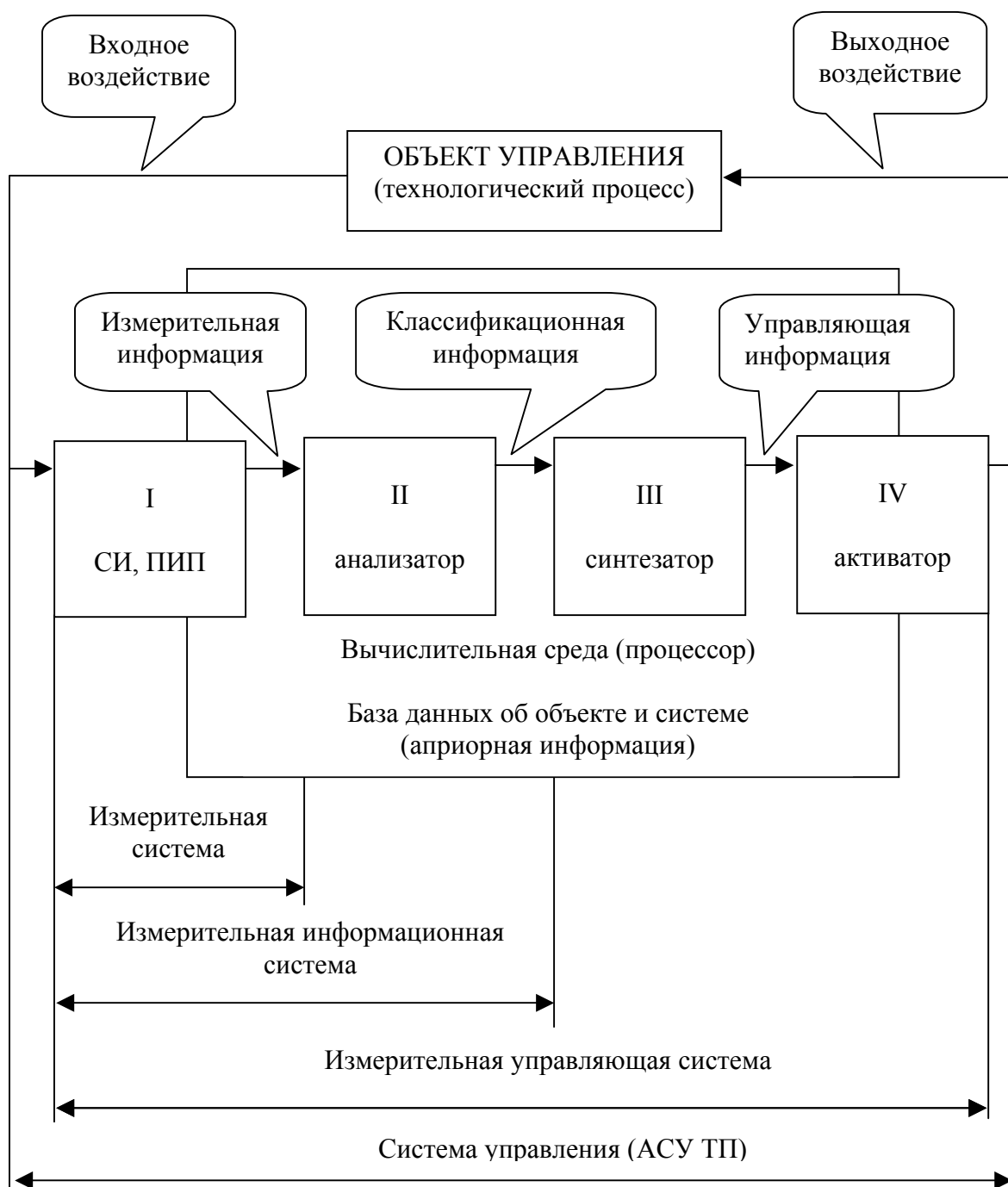
Примером может быть современный цифровой вольтметр, в котором реализуются в автоматическом режиме функции выбора метода измерений, установления диапазона измерений и периодической самодиагностики. Уточняющее понятие “система” указывает на необходимость учета сложности структуры СИ, даже в том случае, если оно является одноканальным.

В развитии ИС можно выделить два этапа, граница между которыми определяется включением в состав систем средств вычислительной техники. На первом этапе структура и функции системы однозначно согласованы и измерительная функция является определяющей. Информационные функции, связанные с отображением результатов измерений, рассматриваются как вспомогательные.

На втором этапе система становится информационной в широком смысле, т.е. позволяет реализовать не только измерительную, но и другие информационные функции. Результатом является создание ИИС, которые предназначены для выполнения, на основе измерений, функций контроля, испытаний, диагностики и др.



Упрощенная структура ИИС, предложенная профессором В.А. Грановским, приведена на рис. 1.1.



I – Измерительная подсистема, II – Классификационная подсистема,  
 III – Управляющая подсистема, IV – Исполнительная подсистема,  
 ПИП – первичный измерительный преобразователь  
 Рис.1.1. Упрощенная структура ИИС и АСУ ТП

Развитие ИИС целесообразно рассматривать в двух аспектах: структурном и функциональном. Первый отражает интегрирование различных подсистем, широкое использование средств вычислительной техники, что приводит к возникновению систем с гибкой структурой. Вторым аспектом характеризует резкое возрастание числа функций, выполняемых системой. При этом центр тяжести переносится с измерительных функций на другие информационные функции, связанные с использованием результатов измерений.

Таким образом, в ИИС измерение во все большей степени становится неразрывно связанным с другими функциями (логической обработки, анализа результатов измерений и др.) и его выделение не всегда возможно. Учитывая приведенные выше особенности ИИС можно дать два следующих определения ИС и ИИС в широком смысле.

Измерительная система – система средств измерений и вспомогательных технических средств, представляющая собой средство измерений.

Измерительная информационная система – информационная система, состоящая из информационных средств, включая средства измерений, и вспомогательных технических средств, в которой измерительная информация преобразуется в другие виды информации.

Наиболее крупной структурной единицей ИИС, для которой могут нормироваться метрологические характеристики (МХ), является измерительный канал (ИК). Он представляет собой последовательное соединение СИ, образующих ИИС (некоторые из этих СИ сами могут быть многоканальными, в этом случае следует говорить о последовательном соединении ИК указанных СИ).

Такое соединение СИ, предусмотренное алгоритмом функционирования, позволяет выполнять законченную функцию от восприятия измеряемой величины до индикации или регистрации результата измерений включительно, или преобразование его в сигнал, удобный для дальнейшего использования вне ИИС, для ввода в цифровое или аналоговое вычислительное устройство, входящее в состав ИИС, для совместного преобразования с другими величинами, для воздействия на исполнительные механизмы.

Типовая структура ИК включает в себя первичный измерительный преобразователь, линии связи, промежуточный измерительный преобразователь, аналого-цифровой преобразователь, процессор, цифроаналоговый преобразователь.

Различают простые ИК, реализующие процедуру измерения какой-либо величины, и сложные ИК, реализующие процедуры измерения нескольких величин и получение искомой величины расчетным путем на основе известных функциональных зависимостей между измеренными и рассчитываемой величинами. Начальная часть сложных ИК разделяется на несколько простых ИК, например, при

измерениях мощности в электрических сетях начальная часть ИК состоит из простых каналов измерений электрического напряжения и тока. Учитывая многоканальность ИИС, использование одних и тех же устройств в составе различных ИК, последние можно выделить зачастую только функционально и их конфигурация реализуется программным путем. Протяженность ИК может составлять от нескольких метров до нескольких сотен километров. Число ИК – до нескольких тысяч. Информация от первичных преобразователей передается обычно при помощи электрических сигналов (реже - пневматических) – ток, напряжение, частота следования импульсов. В некоторых областях измерений современные первичные измерительные преобразователи имеют цифровой код. При большой протяженности ИК используются радиосигналы.

Часть ИИС после линий связи, соединяющих ее с первичными преобразователями, обычно называют измерительно-вычислительным комплексом (ИВК). Значительная часть современных ИВК строится на базе контроллеров, как правило, модульного исполнения, включающих в себя аналого-цифровые и цифроаналоговые преобразователи, процессор, модули дискретной (бинарной) информации (входные и выходные), вспомогательные устройства. Состав, конфигурация, программное обеспечение ИВК конкретизируются с учетом специфики объекта.

Сложность структуры и многоканальность ИИС приводит к тому, что государственному метрологическому контролю и надзору (ГМКН) может подлежать не вся ИИС, а только часть ее ИК. Сложность метрологического обеспечения (МО) и ГМКН связана с наличием в структуре ряда ИИС отдельных частей, размещаемых на перемещающихся объектах. В результате одна (передающая) часть ИИС может работать с различными приемными частями в процессе одного и того же цикла измерений по мере перемещения объекта.

При выпуске и при эксплуатации таких ИИС заранее неизвестны конкретные экземпляры приемной и передающей частей, которые будут работать совместно, тем самым отсутствует “стандартный” объект, для которого регламентируются МХ. Контроль и МО ИИС как целостного объекта затрудняет возможное использование первичных измерительных преобразователей, встроенных в технологическое оборудование. Широкое использование в составе ИИС вычислительной техники выдвигает проблему аттестации алгоритмов обработки результатов измерений.

Особенности ИИС делают особенно актуальной для них проблему расчета МХ ИИС по МХ образующих их компонентов. Метод расчета МХ ИК ИИС существенно зависит от того, относятся ли образующие его СИ к линейным устройствам. Методы расчета нелинейных систем зависят от вида нелинейности, возможности расчленения СИ на линейную инерционную и нелинейную безынерционную часть и от других обстоятельств и отличаются большим разнообразием.

## 1.2. Назначение и виды ИИС

Основными признаками ИИС являются: область применения; способ комплектования; структура, виды входных сигналов; виды измерений; режим работы, функциональные свойства компонентов.

По области применения ИИС делят на группы:

- для научных исследований;
- для испытаний и контроля сложных изделий;
- для управления технологическими процессами.

По способу комплектования:

- агрегатированные;
- неагрегатированные, состоящие из компонентов, специально разработанных для конкретных систем.

Агрегатированные ИИС, как правило, включают универсальное ядро - ИВК, на основе которого, используя датчики различных физических величин можно строить ИИС различного назначения.

По структурным признакам:

- системы параллельно-последовательной структуры. Основным признаком такой структуры служит наличие ИК циклически коммутируемого с множеством датчиков;
- системы параллельной структуры, включающие множество одновременно работающих каналов, выходные системы которых преобразуются функциональным единым преобразователем и обрабатываются в одном вычислительном устройстве.

Сигналы на входе ИИС могут быть непрерывными или дискретными, детерминированными или случайными.

В зависимости от соотношения между скоростью изменения входных сигналов и инерционными свойствами системы различают два основных режима работы ИИС: статический и динамический. В динамическом режиме инерционные свойства системы оказывают влияние на результат измерения.

Под компонентом ИИС понимают входящие в состав ИИС технические устройства, выполняющие одну из функций, предусматриваемых процессом измерений и преобразования измерительной информации в другие виды информации. В соответствии с функциями, компоненты подразделяют на измерительные, связующие, вычислительные и информационные.

*Измерительный компонент ИИС* – средство измерений: измерительный прибор, измерительный преобразователь, мера, измерительный коммутатор.

Измерительные компоненты по характеру функциональных преобразований подразделяются на аналого-цифровые и цифроаналоговые. Аналоговые измерительные компоненты могут быть линейными и нелинейными, аналого-цифровые по своей природе являются нелинейными устройствами.

*Связующий компонент ИИС* – техническое устройство либо часть окружающей среды, предназначенные или используемые для передачи с минимально возможными искажениями сигналов, несущих информацию об измеряемой величине, от одного компонента ИИС к другому.

*Вычислительный компонент ИИС* – цифровое вычислительное устройство (или его часть) совместно с программным обеспечением, выполняющее функцию обработки (вычисления) результатов наблюдений для получения расчетным путем результатов измерений, выражаемых числом или соответствующим кодом.

Вычислительные компоненты подразделяются на:

- аналогово-вычислительные – аналоговые устройства, выходной сигнал которых является функцией двух или более сигналов;
- цифровые вычислительные – устройства, выходной цифровой сигнал которых является функцией двух или более сигналов.

*Информационный компонент ИИС* – техническое средство, предназначенное для получения информации, хранения, преобразования и передачи информации.

С точки зрения информационной теории измерительных устройств процесс измерения, выполняемый любым измерительным устройством (включая необходимые действия человека-оператора), состоит из ряда последовательных преобразований информации об измеряемой величине, проводимых до тех пор, пока она не будет представлена в том виде, ради получения которого и выполняется данное измерение. СИ рассматривается как канал приема (получения) и передачи информации (измерительной). Таким образом, СИ и измерительный компонент ИИС являются разновидностью информационного компонента.

### **1.3. Особенности метрологического обеспечения ИИС**

Любая самая совершенная и интеллектуальная ИИС должна быть метрологически корректной и удовлетворять требованиям системы обеспечения единства измерений в соответствии с государственными законодательными актами и международными нормативными документами ISO, OIML и др. Выделение ИИС в отдельную специфическую разновидность СИ обусловлено рядом их особенностей, порождающих специфику их МО.

Актуальными вопросами теоретической поддержки решения проблем МО ИИС являются: регламентация МХ ИК, экспериментальное определение и контроль МХ, прогнозирование и определение характеристик неопределенности измерений в соответствии с Руководством по выражению

неопределенности измерений<sup>\*</sup>, оценка характеристик точности программ обработки данных.

Развитие измерительной техники, в частности ИИС, используемых в составе АСУ ТП, усложнение измерительных задач и условий эксплуатации СИ, выдвигает новые требования к описанию свойств СИ, прежде всего, предназначенных для системного применения. Приборы, рассчитанные на применение в качестве самостоятельных СИ, для которых назначение класса точности однозначно определяло комплекс нормированных МХ (НМХ), практически непригодны при синтезе ИК ИИС. Комплекс НМХ должен выбираться так, чтобы по некоторой совокупности СИ, средств вычислительной техники и других устройств, образующих ИК, можно было определить МХ всего ИК. Интеллектуализация СИ и ИИС, т.е. включение в их состав микропроцессоров и ЭВМ с целью автоматизации обработки данных, выполнения обработки в режиме on-line, управления процедурой измерений, приводит к растущему значению метрологического аспекта создания и использования алгоритмов и программ обработки данных. Поскольку ИИС предназначены для решения тех или иных задач классифицирования, постольку возникает проблема распространения на конкретные области и на классифицирование в целом основных понятий и методов метрологии.

Результаты анализа основных особенностей ИИС и возникающих в связи с этим проблем МО ИИС приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1.

Особенность ИИС	Основные проблемы МО
1. Многофункциональность	Обеспечение одновременного измерения ряда физических величин; построение обобщенных оценок на основе измерений большого числа параметров; вычисление комплексных параметров
2. Наличие в составе системы ЭВМ	Решение задач, связанных с оценкой качества алгоритмов обработки вычислений

<sup>\*</sup> Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement: First edition – ISO, Geneva, Switzerland 1993 – 101 p.

Особенность ИИС	Основные проблемы МО
<p>3. Многоканальность</p> <p>4. Неразрывная связь многих ИИС с объектом, на котором они эксплуатируются, невозможность снятия таких систем с объектов, не нарушая его целостности</p> <p>5. Сложность описания объектов и их моделирования</p> <p>6. Агрегатный способ построения</p> <p>7. Распределенность компонентов и составных частей ИИС в пространстве</p> <p>8. Возможность изменения состава ИИС в процессе эксплуатации</p> <p>9. Наличие динамических режимов измерения</p>	<p>Оценка, уменьшение или исключение влияния каналов друг на друга</p> <p>Решение проблем проведения метрологического обслуживания в условиях невозможности привязки используемых СИ к эталону путем перемещения СИ к месту дислокации эталона. Невозможность комплектной поверки ИК по условиям установки датчиков на объекте</p> <p>Сложность учета влияния объектов на точность измерения в условиях дефицита исходной (априорной) информации</p> <p>Возможность исследования ИИС как законченного целого только на объекте</p> <p>Учет влияния на точность измерений различных условий эксплуатации компонентов ИИС</p> <p>Сложность регламентации требований к системам на момент их выпуска</p> <p>Необходимость исследования динамических свойств системы и согласование их с объектом</p>

Примеры:

- ИИС для научных исследований – системы, для которых характерно разнообразие измеряемых величин, сложность обработки информации, использование ЭВМ с большими объемами памяти;

- ИИС в составе систем контроля и испытаний сложных изделий (летательных аппаратов, транспортных машиностроительных объектов, двигателей) – характеризуются многоканальностью, разнообразием измеряемых величин, наличием в их составе устройств встроенного контроля МХ. В комплекс технических средств для статических испытаний летательных аппаратов входят ИИС местных деформаций, ИИС перемещений, нагрузок и т.д.;
- ИИС в составе АСУ ТП – характеризуются разнесенностью первичных преобразователей в производстве, протяженностью линий связи, привязкой к конкретному объекту (энергоблоков, энергосистем, химических производств и т.д.);
- ИИС в системах летных испытаний летательных аппаратов – содержат наземную и бортовую части, характеризуется наличием сложных связующих компонентов, наличием радиоканалов, средств хранения измерительной информации;
- ИИС в системах получения навигационной информации – характеризуются разнообразием измеряемых величин, применением сложных СИ, для которых не устанавливается тип и используются индивидуальные МХ СИ.

#### *Вопросы для самоконтроля усвоения знаний*

1. Охарактеризуйте существующие подходы к рассмотрению понятия информационно-измерительная система.
2. На что указывает двойное название по отношению к информационно-измерительным системам?
3. Проанализируйте особенности двух этапов в развитии измерительных систем.
4. Поясните, как измерительные функции в информационно-измерительных системах связаны с функциями анализа результатов измерений и их логической обработки.
5. Что является наиболее крупной структурной единицей информационно-измерительных систем?
6. Дайте определение, что такое измерительный канал, охарактеризуйте его структуру.
7. В чем заключается сложность в осуществлении государственного метрологического контроля и надзора по отношению к информационно-измерительным системам?
8. Как подразделяются информационно-измерительные системы
  - а) по области применения?
  - б) по способу комплектования?
  - в) по структурным признакам?
9. Охарактеризуйте особенности компонентов информационно-измерительных систем.



10. Проанализируйте, какие проблемы в области метрологического обеспечения возникают в связи с основными особенностями информационно-измерительных систем.

## **2. ЗАДАЧИ И СОДЕРЖАНИЕ РАБОТ ПО МЕТРОЛОГИЧЕСКОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ ИИС**

[2, 4, 6, 10, 11]

### **2.1. Общие положения**

Основные проблемы МО ИИС можно разделить на три группы: фундаментальные, прикладные и организационно-правовые. К фундаментальным проблемам относятся:

1. Разработка методов оценки МХ ИИС в условиях эксплуатации. Решение проблемы требует сочетания теоретических и экспериментальных методов.
2. Создание методов синтеза ИИС различных структур по метрологическим критериям, т.е. установление оптимальных точностных характеристик компонентов ИИС по заданным нормам точности для системы в целом.
3. Разработка методов испытаний, калибровки, поверки, метрологических исследований ИИС. Эта проблема включает оптимизацию объема и содержания испытательных процедур, обеспечивающих достоверность оценки МХ ИИС.

Прикладные проблемы включают:

1. Разработку методов автоматизации испытаний, поверки, калибровки ИИС.
2. Разработку программно-управляемых средств для метрологических испытаний ИИС.
3. Разработку алгоритмов и программ автоматизированной поверки ИИС.
4. Разработку комплектов средств поверки для оснащения метрологических лабораторий государственной и ведомственных метрологических служб.

К организационно-правовым проблемам относятся создание комплекса НД, регламентирующих вопросы МО ИИС и обеспечение общей координации работ по МО ИИС на всех этапах их жизненного цикла:

разработки (проектирования), производства, монтажа и наладки, ремонта, эксплуатации.

Границы понятия МО ИИС до сих пор еще четко не обозначены, что обусловлено сложностью проблемы в связи со спецификой ИИС

(автоматизация измерений, проведение измерений в динамическом режиме, совместимость ЭВМ разных уровней, наличие систем контроля неисправностей, изменчивость структур, измерение большого числа величин, унификация алгоритмов измерений, применение бесконтактных методов и средств измерений и т.д.). Сложность структур ИИС и работа ее компонентов в различных условиях приводит к необходимости разработки дополнительных мер по обеспечению принципа относительной инвариантности результатов измерения. Несмотря на недостаточность априорной информации, сложность методов и средств измерений, принципиальную “деформацию” свойств объекта при его экспериментальном исследовании, воздействие внешних условий и влияние субъективного элемента, результаты измерений должны оставаться адекватными (в пределах принятой модели) оценками измеряемых величин при повторном осуществлении одной и той же экспериментальной обстановки и должны воспроизводиться с ограниченной неопределенностью, обусловленной указанными факторами.

Сложность МО ИИС обусловлена еще одним важным фактором, связанным с функциональным назначением ИИС. Осуществляемые с помощью ИИС функции измерений, контроля, испытаний, диагностики, обнаружения и распознавания сводятся к классификационным задачам различного уровня, решение которых основано на *измерительной информации*. В рамках самой ИИС затруднительно, а часто невозможно, разграничить измерительные и неизмерительные информационные функции, реализуемые системой, поскольку граница в большинстве случаев проходит “через” программный компонент. Рассмотрение ИИС в целом, включая неизмерительные функции и подсистемы приводит к необходимости расширения границ понятия “метрологическое обеспечение ИИС”.

Изначально понятие МО раскрывалось в определении, приведенном в ГОСТ 1.25-76. “Метрологическое обеспечение – это установление и применение научных и организационных основ, технических средств, правил и норм, необходимых для достижения единства измерений”. Практика проведения метрологических работ и исследований показала, что понятие МО должно быть шире.

Было предложено следующее определение:

“Метрологическое обеспечение измерений – деятельность метрологических и других служб, направленная на создание в стране необходимых эталонов, образцовых и рабочих средств измерений, разработку и установление метрологических правил и норм, выполнение ряда других метрологических работ, необходимых для обеспечения требуемого качества измерений”. В начале 80-х годов в связи с внедрением робототехники и гибких производственных систем (ГПС) возникла необходимость в их метрологическом обеспечении.

Появилось понятие “метрологическое обеспечение ГПС”, которое рассматривалось как производное понятие. Отмечалось, что МО ГПС имеет свою специфику, в частности, обусловленную необходимостью контроля точностных характеристик *неизмерительных средств (например, точности распознавания объектов)*. ИИС являются системами, находящимися в составе ГПС и на них распространяется указанная выше специфика.

Несмотря на то, что МО ИИС является производным понятием от МО измерений, необходимость обеспечения качества неизмерительной подсистемы, от которой напрямую зависит итоговый результат функционирования ИИС, в расшифровке определения МО не учитывалась. При дальнейших системных исследованиях в области метрологии были предложены следующие определения, учитывающие работу всех подсистем ИИС.

**МО ИИС** – система научной, технической, правовой и организационной деятельности, направленной на достижение единства процессов преобразования информации, осуществляемой в ИИС и требуемой точности результатов ее функционирования.

**Единство процессов преобразования информации** – качество процессов преобразования информации, при котором их результаты, определенные с использованием МХ информационных средств, сопоставимы. Необходимым условием сопоставимости результатов является единообразие МХ.

**Точность результата функционирования ИИС** – качественная характеристика системы, отражающая близость действительного результата функционирования к истинному (требуемому).

**Метрологическая экспертиза** (составляющая МО ИИС) – анализ и оценивание оптимальных научно-технических решений, связанных с обеспечением единства процессов преобразования информации, осуществляемых в ИИС.

В ИС, по сравнению с ИИС, преобладают функции измерения, а функции обработки и хранения измерительной информации незначительны или отсутствуют совсем.

Тем не менее, на ИИС может быть распространена классификация, принятая в МИ 2438-97 для ИС. Соответственно можно выделить:

- ИИС широкого применения, разрабатываемые для серийного производства в виде законченных изделий, выпускаемых в России (или импортируемых в Россию партиями), для установки которых на месте эксплуатации достаточно указаний, изложенных в их эксплуатационной документации (ИИС-1);

- ИИС целевого применения, разрабатываемые для единичного (разового или повторяющегося мелкими партиями) изготовления в России в виде законченного изделия (или импортируемые в Россию единичными экземплярами или мелкими партиями), для установки которого на месте эксплуатации достаточно указаний, изложенных в его эксплуатационной документации (ИИС-2);
- ИИС целевого применения, проектируемые в России (или за границей) под определенные объекты (группы однородных объектов) возникающие как законченное изделие непосредственно на объекте эксплуатации путем его комплектации из компонентов серийного или единичного (или импортного) изготовления и соответствующего монтажа и наладки, осуществляемых в соответствии с проектной документацией (ИИС-3).

## 2.2. Задачи и содержание работ

Эффективность МО ИИС закладывается на стадии их разработки (проектирования) и зависит от совместных усилий разработчиков, изготовителей, потребителей ИИС и метрологических служб, осуществляющих их МО. Для ИИС, входящих в состав более сложных автоматизированных систем, следует учитывать требования руководящих документов и требования технической документации (ТД) на эти системы. ИИС в таких сложных структурах может выделяться на функциональном уровне.

Основными работами по МО ИИС являются:

- установление единых требований к МХ систем;
- разработка методов и средств контроля МХ;
- метрологическая экспертиза (МЭ) технической документации (ТД);
- обеспечение единства и достоверности результатов функционирования ИИС путем проведения испытаний для целей утверждения типа ИИС или их единичных экземпляров;
- утверждение типа или единичного экземпляра ИИС;
- проведение испытаний на соответствие ИИС утвержденному типу;
- анализ состояния МО ИИС и разработка на его основе комплексных программ развития МО;
- организация и осуществление государственного метрологического контроля и надзора за состоянием и применением ИИС;
- организация и проведение поверочных и калибровочных работ;
- организация и проведение работ по аттестации алгоритмов обработки информации, применяемых при работе ИИС.

МО ИИС осуществляется на всех этапах их жизненного цикла. Необходимым условием для МО ИИС является наличие в технической

документации, сопровождающей этапы жизненного цикла ИИС, перечня измерительных каналов ИИС и их МХ.

Анализ состояния МО ИИС проводят с целью установления возможности осуществления постоянного контроля метрологической исправности систем, находящихся в эксплуатации; установления соответствия разрабатываемых, изготавливаемых и находящихся в эксплуатации ИИС требованиям НД и разработке на этой основе мероприятий по совершенствованию ИИС и их МО.

Государственный метрологический контроль и надзор (ГМКН), ведомственный контроль устанавливает:

- наличие НД, регламентирующих требования к организации и порядку проведения разработки, производства и эксплуатации ИИС, а также требования к точности результата функционирования ИИС, порядок и правила поверки ИИС;
- эффективность работ по проведению МЭ конструкторской, технологической, проектной документации;
- правильность эксплуатации ИИС и организации контроля за их состоянием;
- наличие необходимых эталонов для осуществления поверок;
- правильность проведения поверок ИИС в процессе эксплуатации и соблюдение межповерочных интервалов.

Общая цель МЭ ТД - обеспечение эффективности МО, выполнение общих и конкретных требований к МО наиболее рациональными методами и средствами. Конкретные цели МЭ определяются назначением и содержанием ТД.

В зависимости от вида ИИС и этапа их жизненного цикла проводится МЭ следующей документации:

- технического задания (ТЗ) на разработку (или заменяющего его документа, содержащего исходные данные для разработки, проектирования) – для всех видов отечественных ИИС на этапе их разработки (проектирования);
- технических условий (ТУ) – для отечественных ИИС-1, конструкторской и технологической документации – для ИИС-1 и ИИС-2 на этапах их разработки и производства (изготовления) соответственно;
- проектной документации, предназначенной для изготовления (комплектации), монтажа, наладки и эксплуатации отечественных ИИС-3 на объекте, на этапе их проектирования;
- комплекта документации (переведенной на русский язык) фирмы изготовителя на импортируемый тип или единичный экземпляр – для всех видов ИИС (в том числе проектной документации, предназначенной для комплектации, монтажа, наладки и эксплуатации для ИИС-3) на этапе изучения технических характеристик и целесообразности импорта ИИС.

МЭ ТД на отечественные ИИС проводится метрологическими службами организаций (предприятий), разрабатывающих, изготавливающих, проектирующих и эксплуатирующих ИИС, головными и базовыми организациями метрологической службы в отраслях, а также органами государственной метрологической службы (ОГМС) и государственными научными метрологическими центрами (ГНМЦ), в том числе аккредитованными в качестве государственных центров испытаний средств измерений (ГЦИ СИ) в установленном порядке.

Основным содержанием МЭ ТЗ на разработку (проектирование) ИИС или заменяющего его документа, содержащего исходные данные для разработки (проектирования), является проверка достаточности исходных требований, приводимых в проекте ТЗ, для рациональной регламентации МХ ИК ИИС на этапе их разработки и построения эффективного способа их МО на последующих этапах жизненного цикла системы.

Основным содержанием МЭ ТУ, конструкторской, технологической, проектной и эксплуатационной документации является проверка соответствия заложенных в указанной документации комплекса МХ ИК и их компонентов, методов и средств их определения, контроля и (или) расчета, исходным требованиям ТЗ, а также соблюдения метрологических правил, требований и норм, регламентируемым в НД. В частности, проверяют:

- наличие в ТУ и эксплуатационной документации исчерпывающего перечня ИК и метрологических требований к ним;
- контролепригодность конструкции ИИС;
- наличие в проектной документации, предназначенной для монтажа и наладки ИИС на объекте, требований к параметрам и характеристикам, необходимым для контроля качества монтажа ИИС;
- наличие и содержание материалов (протоколов, актов, журналов, отчетов и т.п.) предварительных испытаний, касающихся метрологических свойств ИИС.

Аттестация алгоритмов обработки информации, применяемых при работе ИИС проводится для определения, в какой мере алгоритм вычислений соответствует функции, связывающей измеряемую величину с результатами прямых измерений (со значениями величины на входе измерительных компонентов ИИС).

Обычно это несоответствие вызвано возможностями вычислительной техники и вынужденными упрощениями алгоритма вычислений (линеаризацией функций, их дискретными представлениями и т.п.).

Задача эксперта оценить существенность методической составляющей неопределенности измерений из-за несовершенства алгоритма. Алгоритм обработки информации должен обеспечивать правильность конечного результата, т.е. получения классификационной информации – информации, которую получают в результате решения одной из классификационных задач,

решаемых ИИС, например, контроля, диагностики, обнаружения, распознавания образов.

Испытания для целей утверждения типа и утверждение типа проводятся для ИИС, подлежащих применению и применяемых в сферах распространения ГМКН. Испытания для целей добровольной “сертификации соответствия” и “сертификации соответствия” проводятся для ИИС, не подлежащих и не применяемых в сферах распространения ГМКН. Если в сфере распространения ГМКН применяется только часть из общего числа ИК ИИС, а другая часть – вне этой сферы, то испытаниям для целей утверждения типа ИИС подвергается только первая часть ИИК.

Поверке подвергаются ИК ИИС, подлежащие применению в сферах распространения ГМКН. Содержание работ по поверке определяется документами на методику поверки ИИС. Калибровке подвергаются ИК ИИС, не подлежащие к применению и не применяемые в сферах распространения ГМКН.

ИК должны описываться следующим образом:

- указанием мест соединений компонентов ИИС, между которыми определяют измерительный канал;
- описанием состава измерительного канала;
- описанием алгоритма обработки промежуточных результатов измерений в ИК для получения конечного результата измерений.

*Вопросы для самоконтроля усвоение знаний*

1. Охарактеризуйте фундаментальные, прикладные и организационно-правовые проблемы метрологического обеспечения информационно-измерительных систем.
2. Что понимается под метрологическим обеспечением информационно-измерительных систем?
3. Перечислите основные работы по метрологическому обеспечению информационно-измерительных систем.
4. На каких этапах жизненного цикла осуществляется метрологическое обеспечение информационно-измерительных систем?
5. Охарактеризуйте общие цели метрологической экспертизы технической документации на информационно-измерительные системы различных видов.

### 3. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИИС

[2, 3, 4]

#### 3.1. Общие положения

Актуальными вопросами теоретической поддержки решения новых проблем МО и нормирования МХ ИИС являются:

- расчетные методы прогнозирования и определения характеристик неопределенности измерений, установленных в Руководстве по выражению неопределенности измерений (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement) с учетом искажений, вызванных взаимодействием ИК ИИС с объектом измерений, помех, влияния окружающей среды, возможной адаптивной рекомбинации структуры ИК, поправок и коррекции текущих результатов;
- методы регламентации и определения характеристик неопределенности, вносимой программами обработки данных.

Согласно положениям, принятым в Руководстве по выражению неопределенности измерений, ниже приведены определения для оценок (мер) неопределенности показаний и неопределенности измеряемой величины.

**Оценка неопределенности по типу А** – метод оценивания неопределенности путем статистического анализа рядов наблюдений. Мерой неопределенности, оцениваемой по типу А, является стандартное отклонение  $u_A$ .

**Оценка неопределенности по типу В** – метод оценивания неопределенности иным способом, чем статистический анализ рядов наблюдений. Мерой неопределенности, оцениваемой по типу В, является аналог стандартного отклонения  $u_B$ .

**Стандартная неопределенность** – неопределенность результата измерения, выраженная как стандартное отклонение (аналог стандартного отклонения).

**Суммарная стандартная неопределенность  $u$**  – стандартная неопределенность измеряемой величины (мера неопределенности измеряемой величины), когда результат получают путем расчета из значений ряда других измеренных величин.

Если неопределенность обусловлена действием известного эффекта влияющей величины на результат измерения, то эффект называют систематическим эффектом.

При оценке неопределенности по типу В считается, что в результат измерения внесены поправки на все известные значимые систематические эффекты.



### 3.2. Принципы и особенности нормирования МХ

МХ отражает свойства СИ (ИК), оказывающие определяющее влияние на результат и точность измерений.

Нормирование МХ – это установление комплекса МХ и способов их представления.

Общие принципы нормирования, применяемые к ИИС:

- возможность сравнения и выбора СИ,
- возможность определения неопределенности измеряемой величины с учетом нормируемых МХ практически реализуемыми методами,
- возможность определения оценки (мер) неопределенности результатов измерений, проводимые с помощью данного СИ.

Комплекс МХ должен включать в себя МХ инвариантные к условиям применения и режиму работы.

Способы представления МХ должны обеспечивать простоту их контроля.

Особенности ИИС обуславливают специфику регламентации их метрологических свойств, следует учитывать:

- особенности выпуска и комплектования систем;
- условия их эксплуатации с учетом пространственной распределенности компонентов системы;
- использование в составе систем сложных вычислительных устройств.

Рассмотрим подробнее это влияние.

1. Если ИИС выпускается и комплектуется как единое целое, то в НД устанавливаются МХ ИК в целом, а также методы их контроля. Если ИИС строится по агрегатному принципу, то тогда регламентируются расчетные МХ и методы расчета МХ ИК систем по МХ входящих в их состав компонентов, либо нормируют индивидуальные характеристики ИК систем и методы их экспериментального определения.

2. Если все компоненты ИИС находятся в одинаковых внешних условиях, то функции влияющих величин (ВВ) и дополнительные составляющие неопределенности, возникающие под их воздействием, нормируются как для обычных СИ. Если в различных – нормирование и определение ВВ - исключительно сложная задача, для решения которой прибегают к планированию эксперимента. Если функция влияния одной ВВ на МХ зависит от других ВВ - необходимо нормировать и определять многомерные функции влияния и проводить многофакторный эксперимент.

3. Если используются аналоговые вычислительные устройства, то их рассматривают как обычный измерительный компонент системы и соответствующим образом нормируют его МХ. Если используют сложные вычислительные устройства (включая ЭВМ), то возникает задача регламентации МХ алгоритмов вычислений.

Основной структурной единицей ИИС является ИК (последовательная цепь измерительных компонентов, соединенная каналами связи).

Началом ИК является либо вход системы, либо выход промежуточного устройства, от которого расходятся несколько таких последовательных цепей, концом ИК является выход системы, либо вход системы разветвления.

Таким образом, чтобы достаточно полно описать метрологические свойства системы, необходимо нормировать МХ:

- ИК системы;
- измерительных компонентов системы;
- аналоговых вычислительных компонентов;
- алгоритмов вычисления, реализуемых цифровыми вычислительными компонентами.

### 3.3 Метрологические характеристики

Рассмотрим две группы МХ: типовые и индивидуальные.

Типовые МХ нормируются в НД на типы ИИС (могут определяться и расчетным путем по МХ компонентов ИК).

Индивидуальные МХ характеризуют свойства конкретных ИК и определяются экспериментально или расчетным путем по найденным экспериментально МХ компонентов.

К типовым МХ относятся:

1.Номинальная функция преобразования ИК, заканчивающегося измерительным преобразователем (либо прибором), шкала которого градуирована не в единицах входного сигнала ИК системы –  $f_{sa}(x)$

2.Цена деления равномерной шкалы, минимальная цена деления неравномерной шкалы ИК, заканчивающегося измерительным (показывающим или регистрирующим) прибором.

3.Вид выходного кода, число разрядов кода, номинальная цена единицы наименьшего разряда кода – для ИК с выдачей результата в цифровом коде.

4.Показатели точности и правильности показаний ИК, полученных в результате измерения:

а) характеристики неопределенности показаний ИК, обусловленной действием систематических эффектов ( $\Delta_S$ ) из числа следующих:

– допустимое отклонение ( $\Delta_{SP}$ ) функции преобразования ИК от номинальной, обусловленное действием систематических эффектов; номинальное значение поправки  $\theta_{ИК}$  к показанию на выходе ИК  $M(\Delta_S)$  и стандартное отклонение  $\sigma$  ( $\Delta_S$ ), являющееся мерой неопределенности поправки.

В качестве  $\theta_{ИК}$  может быть принята оценка математического

ожидания  $M(\Delta_S)$ , полученная на этапе предварительных исследований по

определению типовой поправки (нормирование  $M(\Delta_S)$  и  $\sigma(\Delta_S)$  целесообразно при условии, что они незначительно меняются во времени).

б) характеристики неопределенности показаний ИК, обусловленной действием случайных эффектов

- предел  $\sigma_p(\Delta)$  допускаемых значений стандартного отклонения, являющегося мерой неопределенности показаний ИК, оцениваемой по типу А;

- нормированная автокорреляционная функция  $r_{\Delta}(\tau)$  или спектральная плотность  $S_{\Delta}(\omega)$ .

- пределы допустимых отклонений от их регламентированных значений.

в) характеристики неопределенности показаний  $\Delta$  ИК:

- предел допускаемого отклонения  $\Delta_p$  функции преобразования ИК от номинальной;

- мера неопределенности показаний ИК  $\sigma(\Delta)$ , оцениваемая по типу А.

Нормирование  $\sigma(\Delta)$  производится в том случае, если

$$\sigma(\Delta) \leq \frac{\Delta_p q_{\max}}{100},$$

где  $q_{\max}$  - устанавливается в НД на конкретные виды систем.

г) предел допускаемого значения вариации ИК-Н<sub>р</sub>.

5. характеристики, позволяющие учесть возможное влияние на неопределенность показаний взаимодействия ИК с объектом измерений и с подключенными к его выходу устройствами.

6. Динамические характеристики (ДХ):

- полная ДХ - переходная характеристики  $h_a(t)$ . Полные ДХ нормируют для ИК, которые могут считаться линейными;

- импульсная переходная характеристика  $g_a(t)$ ;

- амплитудно-частотная  $A_a(\omega)$  и фазочастотная  $\varphi(\omega)$  характеристики;

- время реакции  $\tau_{га}$  ИК - характеристика, определяющая длительность установления выходного сигнала в заданные (значения) пределы при скачкообразном изменении входного сигнала. Нормируется для ИК, включающих как аналоговые, так и аналого-цифровые компоненты.

7. Чувствительность ИК системы к влияющим величинам:

а) функции влияния  $\psi_a(\xi)$  (в виде предельного значения, либо с указанием допускаемых отклонений от регламентируемых значений);

б) наибольшие допускаемые изменения  $\varepsilon_p(\xi)$  МХ, вызванные отклонением ВВ от нормальных условий.

8. МХ, отражающие влияние канала на канал.

9. Параметры линий связи.

Если изготовитель не комплектует ИИС линиями связи, то в НД указываются параметры линии связи, обеспечивающие нормируемые МХ ИК.

Нормирование характеристик неопределенности показаний для рабочих условий производится, если наибольшие отклонения МХ под воздействием ВВ не превышают заданного значения, оговоренного в НД.

В НД на конкретные виды систем нормируют комплексы МХ, достаточные для учета свойств систем при оценке их точности.

Индивидуальными характеристиками являются:

1. Индивидуальная функция преобразования ИК системы  $f_c(x)$ , заканчивающегося на выходе измерительным преобразователем, шкала которого градуирована в единицах, отличающихся от единиц входного сигнала канала.

2. Характеристики неопределенности показаний конкретного экземпляра ИК системы:

а) характеристики неопределенности показаний ИК  $\Delta_{SC}$ , обусловленной действием систематических эффектов:

- верхняя  $\Delta_{SIC}$  и нижняя  $\Delta_{SLC}$  границы отклонений функции преобразования ИК от номинального значения после введения поправок на все значимые систематические эффекты;
- вероятность  $P_{\Delta_{SC}}$  или нижняя граница ее допускаемых значений, с которой отклонение функции преобразования ИК от номинального значения находится в интервале, ограниченном  $\Delta_{SIC}$  и  $\Delta_{SLC}$ ;

б) характеристики неопределенности показаний  $\sigma(\Delta_c)$  ИК систем, обусловленной действием случайных эффектов:

- стандартное отклонение  $\sigma(\Delta_c^0)$ , являющееся мерой неопределенности показаний ИК, оцениваемой по типу А;
- стандартное отклонение  $\sigma(\Delta_c^0)$  и нормированная автокорреляционная функция  $r_{\Delta_a^0}(\omega)$  или спектральная плотность  $S_{\Delta_a^0}(\omega)$ ;

в) характеристики неопределенности показаний ИК  $\Delta_C$ : верхняя  $\Delta_{IC}$  и  $\Delta_{LC}$  нижняя границы интервала возможных отклонений функции преобразования ИК от номинального значения и вероятность  $P_{\Delta_C}$  или нижняя граница  $P_{\Delta_{LC}}$  ее допускаемых значений, с которой отклонение находится в указанном интервале.

При этом характеристики нормируют только для ИК систем, в которых неопределенность показаний, оцениваемая по пункту б) значительно меньше неопределенности показаний, оцениваемой по пункту а).  
г) вариация  $N_C$  ИК системы.

3. Характеристики, учитывающие влияние взаимодействия ИК с объектом измерений и с подключенным к его выходу устройством.

4. Индивидуальные динамические характеристики ИК:

а) полная динамическая характеристика: переходная характеристика  $h_c(t)$ , импульсная переходная характеристика  $g_c(t)$ , амплитудно-частотная  $A_c(\omega)$  и фазочастотная  $\psi_c(\omega)$ ;

б) время реакции  $\tau_{гс}$  ИК.

5. Характеристики чувствительности ИК и ВВ:

а) функции влияния  $\psi(\xi)$  ;

б) функции влияния ИК системы на ИК, метрологические характеристики которого определяются.

### **3.4. Экспериментальное определение метрологических характеристик**

Проблема экспериментальных исследований метрологических свойств ИИС важна на стадиях их разработки, изготовления и эксплуатации.

Наибольшие трудности возникают при испытании макетов, когда априорная информация минимальна, и нужно принимать решение о методах и средствах испытаний и номенклатуре МХ (также при эксплуатации систем, когда доступ к ним затруднен).

Специфические особенности экспериментальных исследований:

- взаимное влияние каналов;
- пространственная распределенность ИК (если в различных условиях);
- невозможность активно воздействовать на входы ИК (из-за конструктивных ограничений их и трудностей формирования испытательных сигналов неэлектрической природы).

Основные этапы экспериментального определения МХ ИК: подготовка к проведению эксперимента; проведение эксперимента, обработка экспериментальных данных с целью получения значений МХ или аналитических выражений для них.

Подготовка к экспериментальному определению МХ.

1. Изучить НД на систему; исходную информацию о ее свойствах, конструкции, принципе действия, входных сигналах, ВВ. Источники информации: литература, опрос экспертов, результаты предварительных экспериментов.

2. Разработать модель ИК и уточнить перечень экспериментально определяемых МХ.
3. Установить вид эксперимента, произвести выбор исследуемых точек, по диапазону измерений и числа измерений в исследуемой точке.
4. Сформулировать требования к методам, аппаратуре и условиям проведения эксперимента.
5. Установить факторное пространство и построить план эксперимента для оценки функции влияния.

В программе и методике аттестации излагают методы выбора исследуемых точек по диапазону измерений, число измерений в точке, методы и режимы измерений, получение представительной выборки.

Специфические особенности подготовки эксперимента для ИИС:

- построение математической модели (ММ);
- планирование эксперимента по определению ВВ.

На этапе подготовки эксперимента строится качественная модель. Модель должна отражать: характер зависимости между входным и выходным сигналами, ВВ и входным сигналом, чувствительность к ВВ, режим (статический или динамический), существенность случайной составляющей неопределенности и вариации.

Известно несколько видов описания ИК. Наиболее распространенными являются детерминированные стохастические модели. Статические модели описывают стационарные, т.е. не изменяющиеся во времени процессы. Динамические модели описывают переходные процессы, т.е. нестационарные процессы. И те, и другие могут относиться к детерминированному или стохастическому типу модели (условно делят модели на непрерывные (аналоговые) и дискретные).

Процесс построения модели ИК содержит следующие этапы:

1. Составление содержательного описания;
2. Построение формализованной схемы ИК;
3. Построение модели ИК;
4. Проверка адекватности модели ИК.

Содержательное описание может быть составлено в результате изучения НД с учетом накопленного опыта наблюдений за функционированием аналогичных ИК, либо в результате наблюдения процесса и фиксации количественных характеристик.

В содержательное описание включаются: постановка задачи, определяющая цель моделирования; перечень искомых величин с указанием их практического предназначения и требуемой точности их определения; численные значения известных характеристик и параметров процесса.

На основании анализа содержательного описания уточняется номенклатура МХ.

Формализованная схема - промежуточное звено между содержательным описанием и моделью. Она разрабатывается только при сложности исследуемого канала.

Для построения формализованной схемы необходимо выбрать характеристики процессов, установить систему параметров, определяющих процесс преобразования входного сигнала ИК, определить зависимость между характеристиками и параметрами процесса преобразования с учетом всех факторов.

На этапе построения формализованной схемы должна быть составлена точная математическая формулировка задачи исследования с указанием окончательного перечня искомых величин и оцениваемых зависимостей.

Для преобразования формализованной схемы в ММ необходимо записать в аналитической форме все соотношения, которые еще не были записаны.

Рассмотрим в качестве примера построение ММ, учитывающей влияние ВВ на примере ИК, состоящего из линейных аналоговых компонентов, приняв, что изменением во времени ВВ можно пренебречь.

Интегральное соотношение

$$y(t) = \int_{-\infty}^t g(t, \tau)x(\tau)d\tau$$

связывает выходной сигнал  $y(t)$  ИК с основными характеристиками самого канала и действующими на него входным сигналом  $x(t)$  и возмущениями.

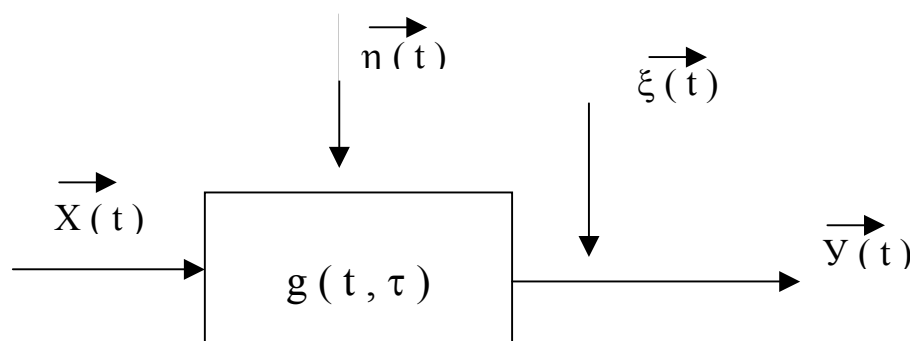


Рис.3.1. Структурная модель ИК ИИС

Математическая модель ИК связывает выходной сигнал  $Y(t)$  с основными характеристиками самого канала, действующими на него входным сигналом  $X(t)$  и возмущениями влияющих величин -  $\eta_i^u(t)$  (рис.3.1.).

ИК, находящиеся под воздействием ВВ описывается случайной импульсной переходной функцией, отражающей совокупность 2 эффектов преобразования - инерционности и стохастичности, которые можно рассматривать как действующие независимо. Модель такого ИК можно представить

в виде двух соединенных последовательно элементов, первый из которых определяет динамические свойства ИК, а второй, являющийся безынерционным преобразователем со случайным коэффициентом преобразования, учитывает стохастичность (рис.3.2.).

Тогда общую импульсную переходную функцию ИК можно представить через импульсные переходные функции  $g_1(t, \tau)$ ,

$$g_1(t, \tau) = g_0(t - \tau)$$

$$g_2(t, \tau) = k_0(t) \delta(t - \tau)$$

и выражением

$$g(t, \tau) = \int_{\tau}^t g_2(t, \tau) g_1(t, \tau) dt = k_0(t) g_0(t - \tau) ,$$

где  $g_0(t - \tau)$  - импульсная переходная функция ИК в нормальных условиях;

$k_0(t)$  - случайный коэффициент преобразования, учитывающий стохастический характер неконтролируемых воздействий;

$\delta(t - \tau)$  - дельта-функция;

$k_0(t)$  можно представить суммой детерминированной и случайной составляющей

$$k_0(t) = k_c + \varepsilon(t) ,$$

где  $k_c$  - значение коэффициента преобразования в нормальных условиях,

$\varepsilon(t)$  - составляющая, учитывающая случайный характер коэффициента преобразования под воздействием ВВ.

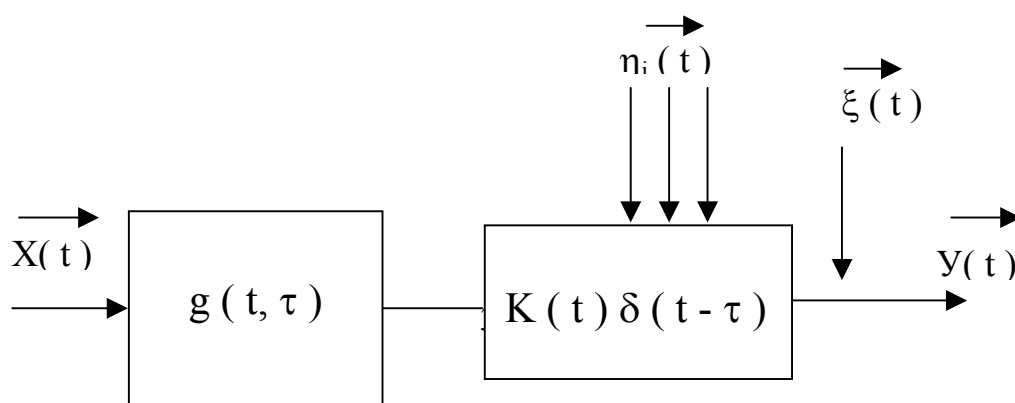




Рис.3.2. Бинарная структурная модель ИК ИИУС

Обозначив через  $\sum_{i=1}^n \eta_i(t)$  - множество ВВ, получим следующую модель ИК

$$y(t) = \left[ k_c + \sum_{i=1}^n a_i \eta_i \right] \int_{-\infty}^{+\infty} g_0(t-\tau) x(\tau) d\tau + \sum_{i=1}^n b_i \eta_i(t),$$

где  $\sum_{i=1}^n a_i \eta_i$  и  $\sum_{i=1}^n b_i \eta_i$  - составляющие функции влияния, выраженные в виде разложений в ряд Маклорена по ВВ.

Модель пригодна для определения импульсной переходной функции, коэффициентов чувствительности функции влияния  $a_i$  и  $b_i$  характеристик дополнительной неопределенности показаний ИК обусловленной воздействием ВВ (составляющие неопределенности от воздействия систематических эффектов и спектральные характеристики).

Для нормальных условий динамическая модель принимает вид :

$$y(t) = k_c + \int_{-\infty}^{+\infty} g_0(t-\tau) x(\tau) d\tau.$$

Для статического режима, когда  $\int_{-\infty}^{+\infty} g_0(t-\tau) d\tau = 1$  и рабочих условий эксплуатации:

$$y(t) = k_c + \sum_{i=1}^n a_i \eta_i(t) x(\tau) + \sum_{i=1}^n b_i \eta_i(t)$$

Для статического режима в нормальных условиях эксплуатации:

$$y = k_0 x$$

Эта модель служит для определения неопределенности показаний ИК в нормальных условиях его применения.

Для проверки адекватности модели исследуемому процессу задаются критерием адекватности и проверяют по этому критерию совпадение значений сигнала на выходе ИК и численных значений, получаемых из ММ при тех же входных воздействиях.

Процедура корректировки модели по критерию адекватности наиболее наглядна при применении методов планирования эксперимента (ПЭ).

Суть методов ПЭ состоит в построении адекватной стохастической модели оценки параметров этой модели и оптимального выбора значений входных воздействий при оценке параметров ММ.

Рассмотрим ПЭ при определении характеристик дополнительной погрешности ИК, обусловленной отклонением ВВ от их нормальных значений. Основной характеристикой дополнительной неопределенности показаний является функция влияния. Пусть функция влияния описывается линейной моделью, причем учитывающей воздействия трех ВВ, независимых друг от друга и от измеряемого сигнала.

Так как в большинстве случаев ВВ вызывают значительные изменения неопределенности показаний ИК, то

$$\psi_c(\xi) = \sum_{i=1}^{k=3} \psi_{\Delta s}(\xi_i),$$

где  $\psi_{\Delta s}(\xi_i) = A_i \Delta \xi_i$   $A_i = \text{const}$  ( $i=1 \dots k$ )

Тогда уравнение модели функции влияния

$$\psi_c(\xi) = \sum_{i=1}^{k=3} A_i \xi_i.$$

После выбора модели функции влияния, в естественной для исследования области факторного пространства планируют и проводят эксперимент для оценки численных значений коэффициентов этого уравнения.

Для построения плана эксперимента оценим область определения ВВ на основе тщательного анализа исходной информации о ИК.

Установив область определения, выбирают нулевую точку факторного пространства и интервалы варьирования каждой из ВВ. В качестве нулевой выбирают точку  $\xi_i^{(0)}$ , отвечающую исходным значениям ВВ при нормальных условиях, определенных НД.

При выборе интервалов варьирования  $\pm \Delta \xi_i$  используют предварительную информацию о точности фиксирования ВВ, о диапазоне изменения параметров выходного сигнала и т.д.

Выбрав нулевые уровни и интервалы варьирования, приступают к построению плана эксперимента.

Первый этап - варьируемые факторы принимают значения, отвечающие нижнему  $\xi_i^{(H)}$  и верхнему  $\xi_i^{(B)}$  уровням, симметрично расположенным относительно нулевого уровня  $\xi_i^{(0)}$ .

Каждый фактор при этом принимает значение

$$\xi_i^{(B)} = \xi_i^{(0)} + \Delta\xi_i \quad ; \quad \xi_i^{(H)} = \xi_i^{(0)} - \Delta\xi_i ,$$

где 
$$\Delta\xi_i = \frac{\xi^{(B)} - \xi^{(H)}}{2}$$

Для упрощения обработки результатов эксперимента удобно перейти к безразмерным переменным  $\eta_i$ : согласно формуле

$$\eta_i = \frac{\xi_i - \frac{\xi_i^{(H)} + \xi_i^{(B)}}{2}}{\frac{\xi_i^{(B)} - \xi_i^{(H)}}{2}} .$$

При этом для каждого фактора верхнему уровню соответствует запись  $\eta_i = +1$ , нижнему уровню  $\eta_i = -1$ , а нулевому уровню  $\eta_i = 0$ . Количество опытов при проведение полного факторного эксперимента типа  $2^k$  равно  $N=2^k$  - где  $k$  - количество ВВ.

Используя таблицу 3.1., можно построить матрицу для трех факторов.

После перехода от исходных переменных  $\xi_i$  к безразмерным переменным  $\eta_i$  уравнение модели запишется в виде

$$\tilde{\psi}_c(\xi) = A_1\eta_1 + A_2\eta_2 + A_3\eta_3 ,$$

где  $\tilde{\psi}_c(\xi)$  - расчетное значение функции влияния

Используя данные матрицы планирования, и применяя для обработки экспериментальных данных метод наименьших квадратов, определяем коэффициенты модели по формулам:

$$A_1 = \frac{\sum_{i=1}^N \eta_{1j} \tilde{\psi}_{cj}}{N} \quad ; \quad A_2 = \frac{\sum_{i=1}^N \eta_{2j} \tilde{\psi}_{cj}}{N} \quad ; \quad A_3 = \frac{\sum_{i=1}^N \eta_{3j} \tilde{\psi}_{cj}}{N} .$$

Оценка значимости коэффициентов производится по критерию Стьюдента:

$$t_i = \frac{A}{\sqrt{S^2 \{A\}}} ,$$

где  $S^2 \{A\}$  - дисперсия коэффициентов модели

$$S^2\{A\} = \frac{S^2_{\text{ост}}}{N - (K + 1)}.$$

Таблица 3.1.

№ опыта	План эксперимента			Результат эксперимента
	1	2	3	
1	-1	-1	-1	$\tilde{\Psi}_{c1}(\xi)$
2	+1	-1	-1	$\tilde{\Psi}_{c2}(\xi)$
3	+1	-1	+1	$\tilde{\Psi}_{c3}(\xi)$
4	-1	-1	+1	$\tilde{\Psi}_{c4}(\xi)$
5	-1	+1	-1	$\tilde{\Psi}_{c5}(\xi)$
6	+1	+1	-1	$\tilde{\Psi}_{c6}(\xi)$
7	+1	+1	+1	$\tilde{\Psi}_{c7}(\xi)$
8	-1	+1	+1	$\tilde{\Psi}_{c8}(\xi)$

Остаточную дисперсию  $S^2_{\text{ост}}$  определяют:

$$S^2_{\text{ост}} = \frac{\sum_{i=1}^N (\tilde{\Psi}_{ci} - \tilde{\Psi}_c)^2}{N - K},$$

где  $(N - k)$  – число степеней свободы.

Коэффициент считается значимым, если выполняется условие  $t_i > t_{кр}$  ( $t_{кр}$  - выбирают по таблице). Проверка адекватности модели дополнительной неопределенности показаний производится по критерию Фишера:

$$\tilde{F}_{\text{расч}} = \frac{S^2_{\text{ост}}}{S^2_{\Delta c}}.$$

Дисперсия воспроизводимости

$$S^2_{\Delta c} = \frac{\sum_{i=1}^N (\tilde{\Psi}_{ci} - \tilde{\Psi}_c)^2}{N - 1},$$

где 
$$\tilde{\Psi}_c = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \tilde{\Psi}_{ci}.$$

Найденное значение сравнивается с  $F_{кр}$ , модель считается адекватной, если  $\tilde{F}_{\text{расч}} < F_{кр}$ .

Если адекватность линейной модели не подтверждается, то переходят к модели более высокого порядка, или уменьшают интервалы варьирования и проводят новый эксперимент на получение адекватной линейной модели.

Использование методов планирования эксперимента позволяет широко использовать ЭВМ для построения моделей, а также автоматизировать процедуру их исследования.

#### Предварительный эксперимент и обработка результатов.

Для уточнения ММ оценивают существенность стандартного отклонения (меры неопределенности, оцениваемой по типу А) и вариации.

Проверку проводят, как правило, в трех точках диапазона измерений ИК (в начале, середине и в конце).

В каждой из трех точек диапазона по результатам 20 измерений при увеличении (прямой ход) и 20 измерений при уменьшении измеряемой величины (обратный ход) определяют значения размаха по выборочным значениям отклонения функции преобразования ИК от номинального значения  $\Delta = \Delta_{\max} - \Delta_{\min}$  на прямом и обратном ходе. Если значения половины размаха  $\Delta/2$  меньше или равно значению  $q$  во всех трех точках диапазона измерений, то считают, что мера неопределенности, оцениваемая по типу А не существенна.

Проверку существенности вариации производят в тех же трех точках диапазона и по тем же выборкам по критерию

$$b \leq q ,$$

где  $b$  – оценка вариации, вычисленная для каждой из трех точек диапазона измерений по результатам 20 измерений в прямом и обратных ходе. Критерий значимости  $q$  проводится в НД на конкретные типы ИК.

#### Алгоритм обработки результата измерений (пример)

Если учитывается вариация, то определяют отклонения  $\Delta'_{ij}$  показаний на выходе ИК от номинального значения, полученные при подходе к точке  $x_j$  входного сигнала со стороны больших и со стороны меньших значений ( $j$  - номер точки,  $1 \leq i \leq n$ )

$$\Delta'_{ij} = y'_{ij} - f_{\text{сfc}}(x_j)$$

$$\Delta''_{ij} = y''_{ij} - f_{\text{сfc}}(x_j) ,$$

где  $y'_{ij}$  и  $y''_{ij}$  - массив значений выходного сигнала ИК при подходе со стороны и меньших значений в  $j$  – точке входного сигнала, соответственно;

$f_{\text{сfc}}(x_j)$  - номинальная статическая функция преобразования ИК.

Определяют  $\tilde{\Delta}_{jy}$  как максимальное из двух чисел

$$\tilde{\Delta}_{jy} = \max \{ \max_i |\Delta'_{ijy}|, \max_i |\Delta''_{ijy}| \}$$

Определяют усредненное отклонение от номинальной функции преобразования ИК

$$\tilde{\Delta}_{sjy} = \frac{\bar{\Delta}'_{jy} + \bar{\Delta}''_{jy}}{2},$$

где

$$\bar{\Delta}''_{jy} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta''_{ijy} \quad ; \quad \bar{\Delta}'_{jy} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta'_{ijy} .$$

Для определения меры неопределенности, оцениваемой по типу А, вычисляют стандартное отклонение отклонение комбинированного ряда

$$\tilde{\Delta}_{sjy} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_{ijy}$$

Без учета вариации усредненное отклонение оценивается средним арифметическим ряда полученных отклонений:

$$\tilde{\Delta}_{sjy} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_{ijy} ,$$

где 
$$\Delta_{ijy} = y_{ij} - f_{\text{sfc}}(x_j) .$$

Вычисляется стандартное отклонение  $S_y = \tilde{\sigma}(\Delta)$

$$\tilde{\sigma}_y(\Delta) = \sqrt{\frac{1}{2n-1} \left[ \sum_{i=1}^n (\Delta_{ijy} - \Delta_{sjy})^2 \right]} .$$

В случае, когда отсутствует необходимость проведения предварительного эксперимента, приведенные выше оценки, находят на основании обработки результатов измерений, проводимых в основном эксперименте.

#### Основной эксперимент и обработка результатов.

Различают три вида эксперимента по определению МХ ИК: активный, пассивный, смешанный.

Активный эксперимент заключается в формировании на входе ИК испытательного сигнала заданной формы, значений и параметров, установление значений ВВ, согласно разработанному плану эксперимента и регистрации выходного сигнала.

Метод позволяет определить МХ с высокой точностью и в кратчайшее время. Недостаток метода - сложность создания аппаратуры, воспроизводящей ВВ.

Пассивный эксперимент заключается в синхронной регистрации входных и выходных сигналов ВВ с последующей обработкой результатов для получения искомого МХ.

Исследование проводят без активного вмешательства в функционирование исследуемого ИК. Достоинство этого метода - возможность проведения эксперимента без нарушения естественного режима функционирования ИК. Недостаток - невозможность создания испытательных сигналов желаемого вида, большая длительность эксперимента, увеличение объема и усложнение вычислений при определении МХ. Особенности методов пассивной идентификации:

1. Для статических моделей в случае стационарных входных, выходных сигналов и ВВ используют метод ненаправленной локализации, состоящий в том, что формирование выборки производится произвольно без сохранения временной регистрации данных.

2. Большое значение имеет правильное определение промежутка времени между отсчетами.

3. Для оценки необходимого числа опытов пользуются соотношением  $(N-n)/n \geq 20$ ,

где N - число опытов; n - число переменных параметров в модели.

4. Большое значение имеет выбор величины интервала времени между двумя отсчетами.

При малых  $\Delta t$  два соседних показания будут сильно коррелированы между собой. Однако  $\Delta t$  не должно сильно превышать максимальный интервал корреляции, т.к. в этом случае данные показания могут быть искажены нестационарными изменениями.

Для определения  $\Delta t$  применяется способ, основанный на расчете автокорреляционных функций входного, выходного сигналов и ВВ.

Время затухания  $\tau_0$  каждого из них (интервалы корреляции) определяют

$$|\tau_{xx}(\tau_0)| \geq (0,03 \dots 0,05)r_{xx}$$

5. До использования экспериментальных данных необходимо определить пригодность измерительной информации, для чего вычисляют

$$v = (x_i^{\max} - x_i^{\min}) / \Delta x,$$

где  $X^{\max}$ ,  $X^{\min}$  - максимальное и минимальное значения параметра в данной выборке;

$\Delta x$  – величина, определяемая как половина интервала в котором находится значение измеряемой величины, определенное на основе

показаний регистрирующего прибора и априорной информации о его классе точности.

Если  $\nu$  мало ( $\nu < 3 \dots 5$ ), то  $X$  определяется в данном эксперименте слишком грубо. Необходимо использовать более точные приборы.

Смешанный эксперимент заключается в формировании на входе ИК испытательного сигнала заданной формы и синхронной регистрации значений ВВ и выходного сигнала ИК.

Значения искомым МХ получают расчетно-экспериментальным путем. Для этого вида эксперимента требуется адекватная ММ, которую строят в предварительном эксперименте.

Вид и значение параметров функции влияния определяют расчетным путем, а значение других МХ - путем обработки результатов измеренных значений выходных сигналов.

Рассмотрим методы определения основных МХ ИК в активном эксперименте.

Индивидуальную характеристику  $f_c(x)$  определяют в заданных точках диапазона измерений (с учетом вариации и неопределенности, оцениваемой по типу А). За значения функции принимают средние значения выходного сигнала (из которого исключена вариация) за время, оговоренное в НД на конкретный ИК.

При аналитическом задании индивидуальной характеристики значения функции аппроксимируют полиномом порядка не выше второго. Степень полинома определяют в зависимости от остаточной суммы квадратов аппроксимации. Оценку вариации определяют:

$$\tilde{H}_c = |\bar{\Delta}'' - \bar{\Delta}'|.$$

Определяют усредненное отклонение:

$$\tilde{\Delta}_{sc} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i$$

Вычисляют стандартное отклонение:



$$\tilde{\sigma}(\Delta^{\circ}_c) = \sqrt{\frac{1}{2n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta_i - \tilde{\Delta}_{sc})^2}$$

Автокорреляционная функция:

$$\tilde{r}_{\Delta_c} = \frac{1}{(2n - \frac{\tau}{T_0}) \tilde{D}(\Delta_c)} \sum_{i=1}^{i=2n - \frac{\tau}{T_0}} (\Delta_i - \bar{\Delta})(\Delta_{i + \frac{\tau}{T_0}} - \bar{\Delta}),$$

где  $n$  - число отсчетов при определении автокорреляционной функции;

$T_0$  - интервал времени между двумя последовательными отсчетами.

Спектральная плотность определяется:

$$S_{\Delta^{\circ}_c}(\omega) = \frac{\sigma^2(\Delta^{\circ}_c)}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} r_{\Delta^{\circ}_c}(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau,$$

где  $r_{\Delta_c}(\tau)$  - аналитическая функция, аппроксимирующая оценку  $\tilde{r}_{\Delta_c}(\tau)$ .

При этом нормализованная автокорреляционная функция определяется по точкам для дискретных значений аргумента  $\tau$ , для которых  $\frac{\tau}{T_0}$  принимает целочисленные значения.

Интервал времени  $T_0$  должен удовлетворять условию

$$\frac{T_{\max}}{2n} \ll T_0 \leq \tau_1,$$

где  $\tau_1$  - первое, после нулевого, значение аргумента  $\tau$ , для которого определяется значение автокорреляционной функции;

$T_{\max}$  - заданный верхний предел диапазона аргумента, в котором определяется нормализованная автокорреляционная функция.

Определение функции влияния каналов на исследуемый канал проводится в двух экспериментах:

первый – на входы каждого из ИК, влияние которых оценивается, подключается нагрузка, эквивалентная источнику входного сигнала и определяются МХ измерительного и исследуемого канала.

второй - входы ИК, влияние которых исследуется, подключаются по схеме, соответствующей режиму эксплуатации и определяется МХ

исследуемого ИК. Разность между значениями МХ дает значение функции влияния ИК на исследуемый канал.

При определении динамических характеристик выбирают методы по ГОСТ 8.256-77.

Рассмотрим простой метод определения импульсной переходной функции.

На вход ИК подают двоичный сигнал в виде  $m$  – последовательности с известной амплитудой  $A$ . Измеряя значения взаимно корреляционной функции входного и выходного сигналов  $\tau_{xy}(\tau)$ , значения импульсной переходной характеристики получают масштабированием результатов измерений

$$g_c(\tau_i) = \frac{r_{xi}(\tau_i)}{A^2} \quad i=\overline{1, n}$$

Этот метод следует из известного соотношения, связывающего автокорреляционную функцию входного сигнала  $\tau_{xx}(\tau)$  с взаимно корреляционной функцией входного и выходного сигналов  $\tau_{xy}(\tau)$  через импульсную переходную функцию  $g_c(\tau)$  :

$$r_{xy}(\tau) = \int_0^t g_c(t) r_{xx}(t - \tau) d\tau$$

В случае входного сигнала в виде  $m$ - последовательности  $r_{xx}(\tau) = B^2 \delta(\tau)$  и из известных свойств  $\delta$  - функции следует:

$$r_{xy}(\tau) = B^2 g_c(\tau)$$

Для определения переходной функции  $h_c(t)$  измерительного канала подается ступенчатый сигнал  $x(t) = AV$ , где  $A$  – известная амплитуда

$$V(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } t < 0 \\ 1 & \text{при } t > 0 \end{cases}$$

Выходной сигнал регистрируют в дискретных точках  $\{t\}_{i=1}^n$ .

Значение переходной функции определяют масштабированием результатов измерений

$$h_c(t_i) = \frac{y(t)}{A}, \quad i = \overline{1, n}$$

Полученные значения можно использовать либо для построения графика, либо аналитической аппроксимации.

Для определения АЧХ –  $A_c(\omega)$  и ФЧХ –  $\varphi_c(\omega)$  на вход измерительного канала подают испытательный сигнал вида:  $x(t) = A_{\sin \omega t}$  с постоянной

амплитудой  $A = \text{const}$  и переменной частотой  $\omega$ . Устанавливая значения частоты  $\omega_i$ , измеряют амплитуду входного сигнала  $y(\omega_i)$ , после чего

$$A_c(\omega_i) = \frac{y(\omega_i)}{A}, \quad i = \overline{1, n}$$

На этих же частотах определяют значения фазочастотной характеристики  $\varphi_c(\omega)$

Выбор метода определения ДХ ИК зависит от требуемой точности.

При оценке точности ДХ ИК следует учитывать не только неопределенность показаний, но и отклонения воспроизводимого испытательного сигнала от номинального значения.

Если значения ДХ сопровождаются разбросами, необходимо провести многократное определение искомой характеристики и полученные результаты усреднить.

### 3.5. Расчетные методы определения МХ ИИС

Необходимость применения расчетных методов определения МХ систем по МХ компонентов обусловлена агрегатным принципом их построения.

Поскольку расчетные методы предполагают идеализацию свойств системы и требуют большего объема априорной информации, их использование должно быть обосновано технико-экономическими причинами.

Методы распространяются на ИК, состоящие из последовательно включенных линейных аналоговых компонентов, а также на ИК, содержащие дискретные компоненты, влиянием дискретности которых на неопределенность показаний ИК можно пренебречь.

Для того чтобы правильно предоставить исходные данные для расчета в виде функциональных зависимостей, связывающих МХ с входным (выходным) сигналом, нужно выбрать математическую модель компонента.

Как правило, в НД отсутствуют полные данные, необходимые для построения модели. Поэтому при использовании расчетных методов необходимо провести исследования и работы по построению модели и проверке ее адекватности.

В общем случае расчет номинальной функции преобразования, характеристик неопределенности показаний ИК основан на последовательном приведении к выходу канала функции преобразования и составляющих неопределенности показаний ИК и последующим их суммировании.

Рассмотрим методику расчета статических МХ на примере определения номинальной функции преобразования ИК.

Исходные данные:

N- количество компонентов в канале;

$f_{sai}(x)$  - номинальная функция преобразования каждого компонента ( $i=1,2,\dots,N$ ) задается в виде линейной функции входного сигнала.

$$f_{sai}(x) = A_i x + a_i ,$$

где  $A_i$  и  $a_i$  - мультипликативная и аддитивная составляющие функции преобразования, определяющие наклон и смещение  $f_{sai}$ .

Мультипликативная составляющая функции преобразования определяется по формуле

$$A^{(i)} = \prod_{j=i+1}^N A_j \quad \text{при } i=1,2,\dots,N$$

Аддитивная составляющая функции преобразования канала определяется из выражения

$$a = \sum_{i=1}^N a_i \prod_{j=i+1}^N A_j .$$

Тогда для канала в целом

$$f_{sai}(x) = A_x^{(0)} + a , \quad \text{где} \quad A^{(0)} = A^{(i)}|_{i=0} .$$

Например, для ИК, состоящего из трех последовательно соединенных компонентов,  $k_1, k_2, k_3$  аддитивные и мультипликативные функции преобразования, которых обозначим  $A_1, a_1, A_2, a_2, A_3, a_3$ , соответственно, расчет номинальной функции преобразования производится следующим образом. Сигнал на выходе  $K_1$  можно записать в виде

$$x_1 = A_1 x + a_1$$

Этот сигнал является входным для компонента  $k_2$  выходной сигнал, которого можно получить из выражения

$$x_2 = A_2 x_1 + a_2 = A_2 (A_1 x_1 + a_1) + a_2 = A_1 A_2 x + A_2 a_1 + a_2.$$

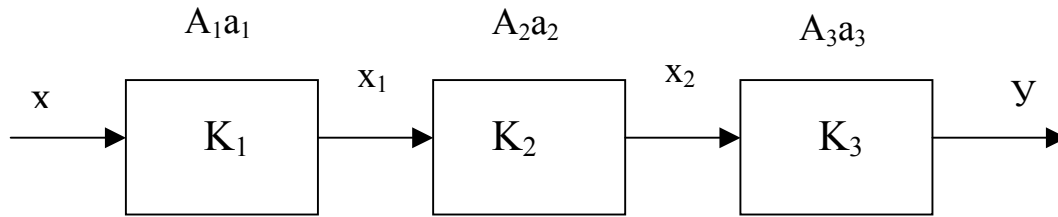


Рис.3.3. Простейшая линейная модель ИК

Для компонента  $K_3$ :

$$y = A_3 x_2 + a_3 = A_3 (A_1 A_2 x + A_2 a_1 + a_2) + a_3 = A_1 A_2 A_3 x + A_2 A_3 a_1 + A_3 a_2 + a_3,$$

что соответствует формуле для  $f_{sa}(x)$ .

Исходными данными для расчета динамических характеристик ИК являются:

$A_{ai}(\omega)$  - номинальная АЧХ компонента;

$\Delta\varphi_{ai}(\omega)$  - номинальная ФЧХ компонента;

$\Delta A_{ai}(\omega)$ ,  $\Delta\varphi_{ai}(\omega)$  - наибольшие допускаемые отклонения АЧХ и ФЧХ от номинального значения.

Номинальную АЧХ ИК и  $\Delta A_{ai}(\omega)$ , рассчитывают по формулам :

$$\Delta A_{ai}(\omega) = \sum_{i=1}^N \Delta A_i(\omega) \prod_{i=1}^{i-1} A_{ai}(\omega) \prod_{i+1}^N A_{ai}(\omega)$$

Номинальную ФЧХ и наибольшие допускаемые отклонения от нее рассчитывают по формулам :

$$\varphi_a(\omega) = \sum_{i=1}^N \varphi_{ai}(\omega), \quad \Delta\varphi_a(\omega) = \sum_{i=1}^N \Delta\varphi_i(\omega).$$

Данные соотношения можно использовать при двух следующих условиях:

- ИК состоит из линейных аналоговых компонентов, либо включает дискретные компоненты, нелинейными инерционными свойствами которых можно пренебречь;

- в ИК имеет место стационарный динамический режим, когда математическое ожидание и дисперсия измеряемого сигнала не зависят от времени, а корреляционная функция зависит от разности времени.

В большинстве случаев ИК ИИС содержит аналого-цифровой преобразователь (АЦП), который осуществляет дискретизацию во времени и квантование по амплитуде непрерывного сигнала  $y(t)$  на выходе аналоговой части ИК системы.

При построении моделей ИК ИИС исходят из предположения, что АЦП – идеальный квантователь. Однако, при широкополосных сигналах, а также измерении и регулировании быстро меняющихся величин динамическая модель будет выглядеть, как это представлено на рис.3.4.

ИК представлен как последовательное соединение аналоговых компонентов ИИС, включающих входные устройства АЦП (аналоговая линия часть ИК), с дискретной нелинейной частью, в которой выполняются операции дискретизации во времени и квантованием по уровню.

В этом случае динамические свойства аналоговой части ИК ИИС описываются ее амплитудно- и фазочастотными характеристиками, определенными изложенными выше методами с учетом АЧХ линейной части АЦП, а динамические свойства дискретной части – средней задержкой отсчета и апертурным временем – характеристиками динамических свойств АЦП.

При этом задержка ( опережение) отсчета - разность между заданным и действительным моментами отсчета, имеет систематическую составляющую ( постоянный сдвиг)  $t_{3,c}$ , который всегда можно учесть как поправку и случайную составляющую  $\Delta t_{3,0}$  т.е.

$$t_{3,0} = t_{3,c} + \Delta t_{3,0}$$

Числовая характеристика распределения задержки отсчета  $P_{(\Delta t_{3,0})}$  названа апертурным временем  $t_a$  . Поскольку  $t_{3,0}$  зависит от уровня и скорости изменения входного сигнала АЦП, распределение  $P_{(\Delta t_{3,0})}$  и, соответственно,  $t_a$  наряду с АЧХ аналоговой части канала могут быть использованы для расчета динамической погрешности канала.

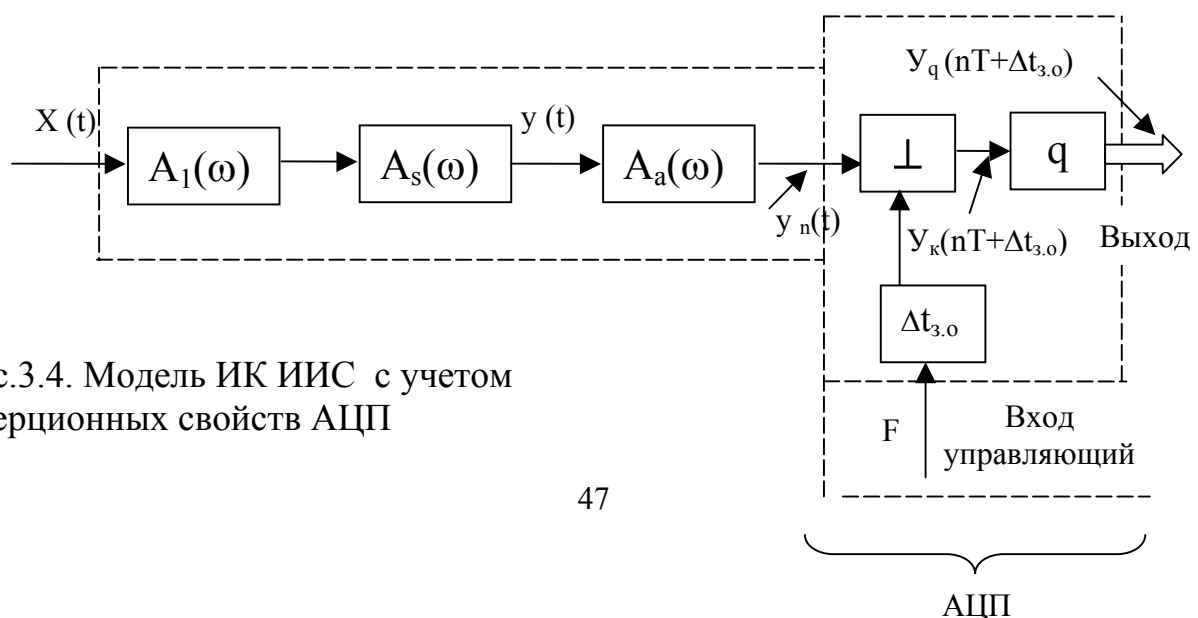


Рис.3.4. Модель ИК ИИС с учетом инерционных свойств АЦП

Математическое описание преобразования выходного сигнала  $x(t)$  со спектром  $S_x(\omega)$  аналоговой части канала имеет вид:

$$y_k(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} S_x(\omega) \prod_{i=1}^s A_{a_i}(\omega) A_{ay}(\omega) e^{j\omega t} d\omega,$$

где  $A_{a_i}(\omega)$  - АЧХ аналоговых линейных компонентов;

$A_{ay}(\omega)$  - АЧХ аналоговой части АЦП.

Сигнал на выходе дискретизатора:

$$y_k(nT + \Delta t_{3.0}) = \int_{nT - \alpha}^{nT + \alpha} y_k(t) \sum_{-\infty}^{+\infty} \delta[t - (nt + \Delta t_{3.0})] dt,$$

где  $\alpha$  - интервал интегрирования слева и справа от заданного временного положения  $n$ -го отсчета;  $T$  - период дискретизации. Сигнал на выходе квантователя и ИК в целом может быть представлен с помощью нелинейной пилообразной функции  $\epsilon(y_k)$  в виде:

$$y_g(nT + \Delta t_{3.0}) = y_k(nT + \Delta t_{3.0}) - \epsilon_g(y_k).$$

Тогда динамическая погрешность равна

$$\Delta y_k = \frac{y'_g}{nT} \Delta t_{3.0}.$$

На основании этой формулы по конкретным значениям временного ряда, полученного в результате измерений, можно вычислить оценку погрешности в каждый момент времени и  $nT$ .

Если известны статические характеристики  $y_k(t)$  и  $\Delta t_{3.0}$  можно найти общую оценку неопределенности показаний ИК и стандартное отклонение.

Однако расчет ДХ по приведенным выше выражениям затруднен из-за сложности вычислений.

Для случаев, когда учет инерционных свойств дискретных компонентов необходим, можно рекомендовать метод математического моделирования с использованием модели канала, представленный на рис 3.4.

### 3.6. Определение МХ программ вычислений

При метрологической аттестации алгоритмов исследуются три основные группы показателей: точности, устойчивости и сложности.

Показатели точности – характеризуют точность результатов, полученных с помощью данного алгоритма при соблюдении введенной модели входных данных.

Показатели устойчивости (надежности) – характеризуют устойчивость по отношению к искажениям исходных данных, помехам.

Показатели сложности - определяют трудоемкость решения задачи при использовании данного алгоритма (число элементарных операций обработки данных).

Цель аттестации алгоритма – выбор оптимального алгоритма для решения конкретной задачи (на этапе разработки системы).

Под МХ программы вычислений подразумевают характеристики тех свойств программы вычислений, которые оказывают влияние на результат измерений и могут привести к дополнительным потерям измерительной информации .

Потери измерительной информации могут быть обусловлены:

- применением приближенных методов вычислений (несовершенство методов или алгоритмов) ;
- недостоверностью экспериментальных данных, поступающих на вход вычислительного компонента (наследственная потеря измерительной информации) ;
- погрешностью окружения результатов вычислений.

Одна и та же программа вычислений, реализованная в одной и той же среде, одной и той же операционной системы на вычислительном компоненте одного типа, не будет меняться от экземпляра к экземпляру (может быть сопоставлена с конкретной копией).

Изменения в программе могут возникнуть при смене вычислительного компонента или операционной системы.

Когда существенны ограничения вычислений (по времени счета, шагу дискретизации, числу операций) – целесообразно использовать функцию связи между МХ и этими ограничениями.

Функция связи имеет различный вид в зависимости от типов применяемых алгоритмов.

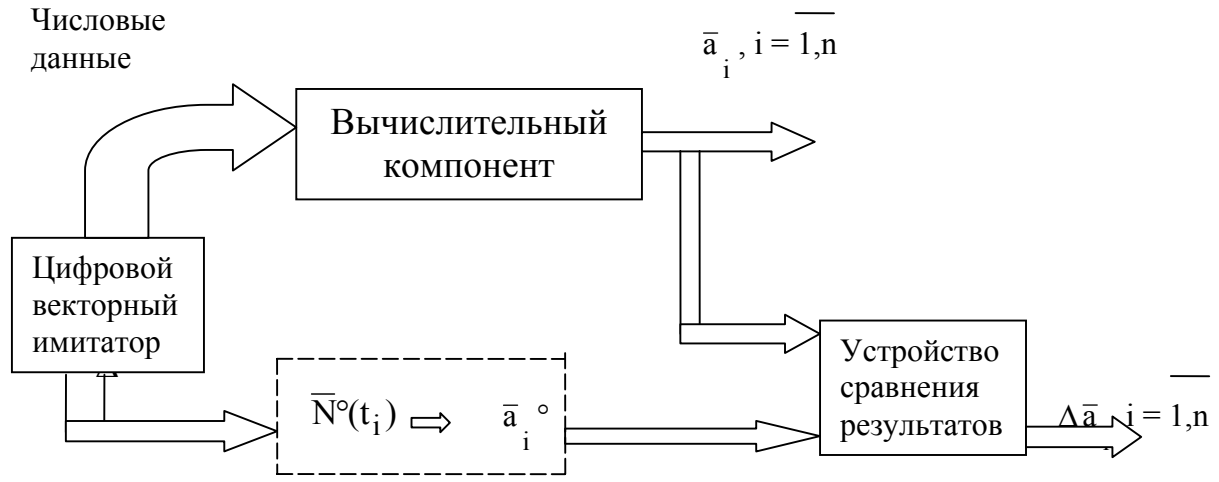
Получив в процессе МА зависимость, например, методической погрешности его шага дискретизации можно выбрать значения параметра ограничения, при котором эта погрешность будет минимальной, и рекомендовать данный алгоритм при полученном значении параметра ограничения.

Оценка МХ программ вычислений может быть получена с помощью вычислительных экспериментов, организация которых ассоциируется с методом “образцовой меры” либо методом “образцового прибора”.

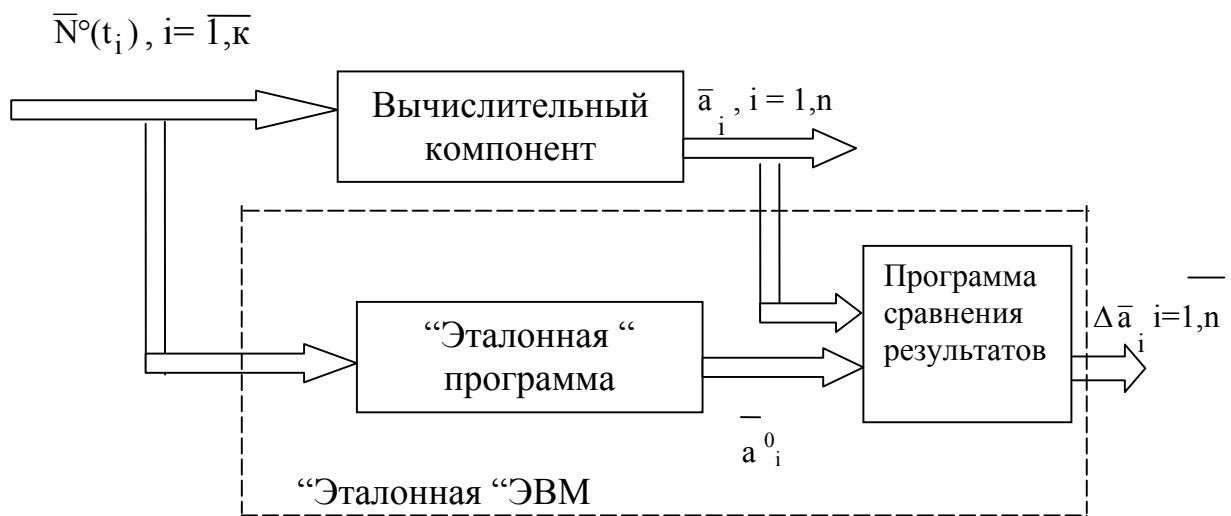
В первом случае на выход вычислительного компонента подают цифровые сигналы, имитирующие работу аналоговой части системы (рис.3.5. а). Устройство, генерирующее сигналы, называется цифровым векторным имитатором.



Требуемая последовательность числовых данных может образовываться путем обращения к запоминающему устройству или воспроизводится программными средствами ЭВМ по заданному алгоритму.



а)



б)

Рис.3.5 Методы определения MX программ вычислений

В любом случае поступающие на вход устройства сравнения числовые данные  $\bar{N}^o(t_i) \rightarrow \bar{a}_i$  и ожидаемые результаты их обработки  $\bar{a}_i$  должны быть известны с требуемой точностью. Для организации эксперимента по методу “образцового прибора” используется (рис.3.5. б) машинная имитация результатов прямых измерений  $\bar{N}^o(t_i)$  (с учетом известных законов

распределения показаний и известной информации о величинах, подвергаемых измерениям). Результат применения программы вычислений  $\bar{a}_i$  сравнивается с идеальным значением  $\bar{a}_i^0$ , определенным с учетом априорной информации об исследуемой системе (например, с помощью “технологической”, эталонной ЭВМ).

Однако в силу сложности этот эксперимент часто нецелесообразен.

МА программ вычислений производится только для вновь разрабатываемых или ранее не прошедших аттестацию программ вычислений.

Повторная аттестация – при смене вычислительного компонента.

### *Вопросы для самоконтроля усвоения знаний*

1. В чем состоят общие принципы нормирования метрологических характеристик информационно-измерительных систем?
2. Какие особенности информационно-измерительных систем в первую очередь обуславливают специфику регламентации их метрологических характеристик?
3. Какие характеристики измерительных каналов относятся к динамическим?
4. Охарактеризуйте основные проблемы и специфические особенности экспериментальных исследований метрологических свойств информационно-измерительных систем?
5. В чем заключается подготовка к экспериментальному определению метрологических характеристик информационно-измерительных систем?
6. Какие задачи решаются в процессе построения моделей измерительных каналов? Приведите пример построения математической модели измерительного канала.
7. Как учитывается воздействие влияющих величин при определении метрологических характеристик информационно-измерительных систем?
8. В чем состоит суть методов планирования эксперимента? Рассмотрите пример построения плана эксперимента при наличии трех влияющих величин.
9. Рассмотрите методику расчета номинальной функции преобразования измерительного канала.
10. Какие особенности аналого-цифровых преобразователей необходимо учитывать при построении модели измерительного канала информационно-измерительной системы?
11. Сформулируйте основные принципы, используемые при определении метрологических характеристик программ вычислений.

## 4. ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ (ИВК)

[1, 6, 7, 8, 11]

### 4.1. Виды и состав ИВК

ИВК представляет собой автоматизированное средство измерений электрических величин, на основе которого возможно создание ИИС путем присоединения к входу измерительных каналов ИВК датчиков с унифицированным электрическим выходным сигналом и генерации на основе программных компонентов ИВК программ обработки информации и управления экспериментом. ИВК представляет собой унифицированное ядро ИИС.

ИВК создается методом проектной компоновки из системно-сопряженных функциональных блоков и устройств, выпускаемых в составе агрегатных комплексов ИВК, производимых серийно и прошедших испытания для целей утверждения типа.

Основными признаками ИВК являются:

- наличие нормируемых МХ;
- блочно-модульная структура, измерительные и вычислительные компоненты которой являются серийно выпускаемыми агрегатными СИ;
- наличие процессора или ЭВМ;
- программное управление СИ;
- использование типовых интерфейсов для автоматизации и обеспечения взаимодействия между СИ.

По назначению ИВК подразделяют на типовые, проблемные, специализированные (табл.4.1.)

Таблица 4.1.

ИВК		
Типовые	Проблемные	Специализированные
Для решения широкого круга задач автоматизации исследований, измерений и испытаний независимо от области применения	Для решения широко распространенной, но специфической для конкретной области применения задачи	Для решения уникальных задач автоматизации измерений

В состав ИВК входят технические и программные компоненты, состав которых приведен на рис.4.1., 4.2.



Рис. 4.1. Состав технических компонентов ИВК

Технические компоненты должны удовлетворять требованиям:

- совместимости;
- взаимодействия компонентов;
- комплексов нормируемых характеристик.



Рис. 4.2. Состав программных компонентов ИВК

#### 4.2. Основные варианты построения, архитектура и структурные схемы ИВК

Существует три варианта магистрально-модульного принципа построения ИВК. I – с магистралью приборного интерфейса и использования серийных автономных приборов и устройств (ИВК-7, ИВК-8, ИВК-12, ИВК-15);

II – с магистралью в стандартах КАМАК (ИВК-2, ИВК-6, ИВК-16, ИВК-20);

III – с машинной магистралью с использованием системных унифицированных узлов (К-750, К-755, К-766).

По заданию Минприбора ВНИИЭП разработал концепцию магистрально-модульного принципа построения систем измерения на базе унифицированных модулей и стандартных интерфейсов с применением микропроцессорных средств и мини-ЭВМ.

В основу этой концепции положены агрегатные комплексы: микроэлектронных средств электрических измерений; средств диспетчеризации, автоматизации и телемеханики (микро-ДАТ); управляющих вычислительных комплексов СМ СЭВ.

В концепции принята трехуровневая иерархическая структура организации ИВК.

### Базовый комплект СМ-3

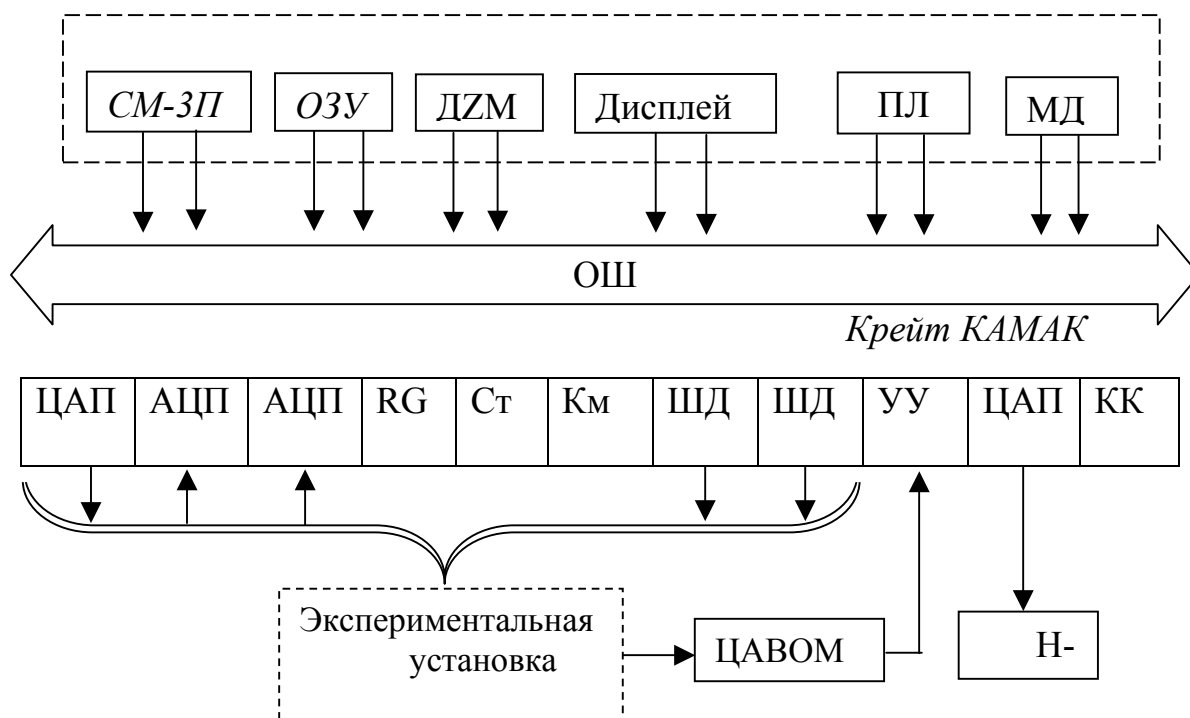


Рис. 4.3. Структура ИВК-3

**Нулевой** (внутрикаркасный) уровень включает малые программируемые контроллеры, выносные средства сбора и предварительной обработки информации, измерительные подсистемы на основе модулей, локальные регуляторы. Внутрикаркасный магистральный интерфейс - параллельный, асинхронный.

**Первый уровень** включает локальные измерительные комплексы и системы, управляющие вычислительные комплексы (осуществляющие получение, обработку, хранение и обмен информацией с нулевым и вторым уровнем). Внутрисистемный обмен информацией на этом уровне между средствами, расположенными компактно (до 20м) осуществляется применением приборного магистрального интерфейса. Выход на него из каркаса осуществляется применением соответствующего модуля сопряжения.

**Второй уровень** – включает распределенные ИВК и системы, средства системного обмена с нулевым и первым уровнем. Для внутрисистемного обмена на 2 уровне и межсистемного обмена применяется магистральный сетевой интерфейс ГОСТ 26.239-94.

Структуры ИВК-1 - ИВК-6 аналогичны. Рассмотрим их структуру на примере ИВК-3, предназначенного для автоматизации исследований с помощью оптических спектральных устройств. ИВК-3 содержит базовый комплект СМ-3, крейт КАМАК с набором функциональных и сервисных модулей, цифровой ампервольтметр и планшетный графопостроитель.

Базовый комплект СМ-3 содержит процессор СМ-3П, оперативное запоминающее устройство (ОЗУ), алфавитно-цифровое печатающее устройство (ДЗМ), дисплей, накопители на перфоленте (ПЛ) и магнитном диске (ДМ). Крейт КАМАК содержит следующие функциональные модули: два двухканальных ЦАП, АЦП, коммутатор, два модуля управления шаговыми двигателями (ШД), модули входных и выходных регистров, счетчики импульсов, контроллер крейта (КК).

### 4.3. Приборный стандартный интерфейс (стандарт МЭК)

Разработчиком приборного интерфейса является фирма Hewlett-Packard (США).

Интерфейс обеспечивает работу системы:

- с одним уровнем централизации;
- имеет отдельные информационные шины и шины управления;
- реализует байт последовательный, бит параллельный обмен информацией;
- не регламентирует типы работающих в системе ЭВМ, а также конструкцию и питание приборов, объединяемых в систему.

Соединение функциональных блоков (ФБ) осуществляется через магистральный канал (МгК) общего пользования (общей длиной не более 20м).

Число блоков присоединенных к МгК  $\leq 15$  (общее число адресов приемников информации не более 31 при однобайтовой и 961 при двухбайтовой адресации).

МгК состоит из 18 линий, восемь из которых (ЛД0 – ЛД7) используют для последовательно побайтовой передачи **адресов, команд и данных**, а другие 8 – для передачи сигналов общего управления.

ШУ – шина управления, объединяет 5 линий;

ШС – шина синхронизации, объединяет 3 линии.

Максимальная скорость обмена информацией равна 1 Мбайт/с. Управление передачей информации по линии ШД осуществляется по трем линиям:

ШС {  
    ГП – готов к приему  
    ДП – данные приняты  
    СД – сопровождение данных

Уровень активности линий обозначается:

высокое состояние – лог. “1”

низкое состояние – лог. “0”

Любое устройство становится источником информации, если его адрес помещается на ШД, когда линия УП – лог. “0”.

В измерительной системе данные передаются стандартным кодом в виде последовательности байтов: каждый обмен должен быть завершен прежде, чем начнется следующий. Рассмотрим работу ШС (рис.4.4.).

Передающее устройство переводит линию СД в состояние лог. “0”, указывая на достоверность байта на ШД, при этом обязательно высокое состояние линии ГП (лог. “1”), что свидетельствует о том, что предыдущая информация принята и обработана.

ДП – лог. “1” – означает конец приема информации (при этом СД “0” и ГП – “0”).

Линия ГП – линия обмена сигналами между источниками и приемниками.

ГП – “1” – по окончании выдачи сигнала на линии ДП. Шина управления ШУ используется для обмена управляющими сигналами между процессором и всеми другими устройствами, подключенными к МгК с помощью следующих линий:

ШУ {  
    УП – управление  
    КП – конец передачи  
    ЗО – запрос на обслуживание  
    ОИ – очистить интерфейс  
    ДУ – дистанционное управление

Выдача сигналов на линию УП осуществляется процессором.

Если на линии УП выставляется уровень лог. “0”, все устройства переходят в режим “Ожидание” и только контроллер может передавать информацию.

Если УП – лог. “1” – обмен информации осуществляется между устройствами, которые были адресованы (обозначены) при УП – лог. “0” ( на передачу включения не более 1-го устройства);

КП – лог. “0” – одновременно с передачей последнего байта информации;



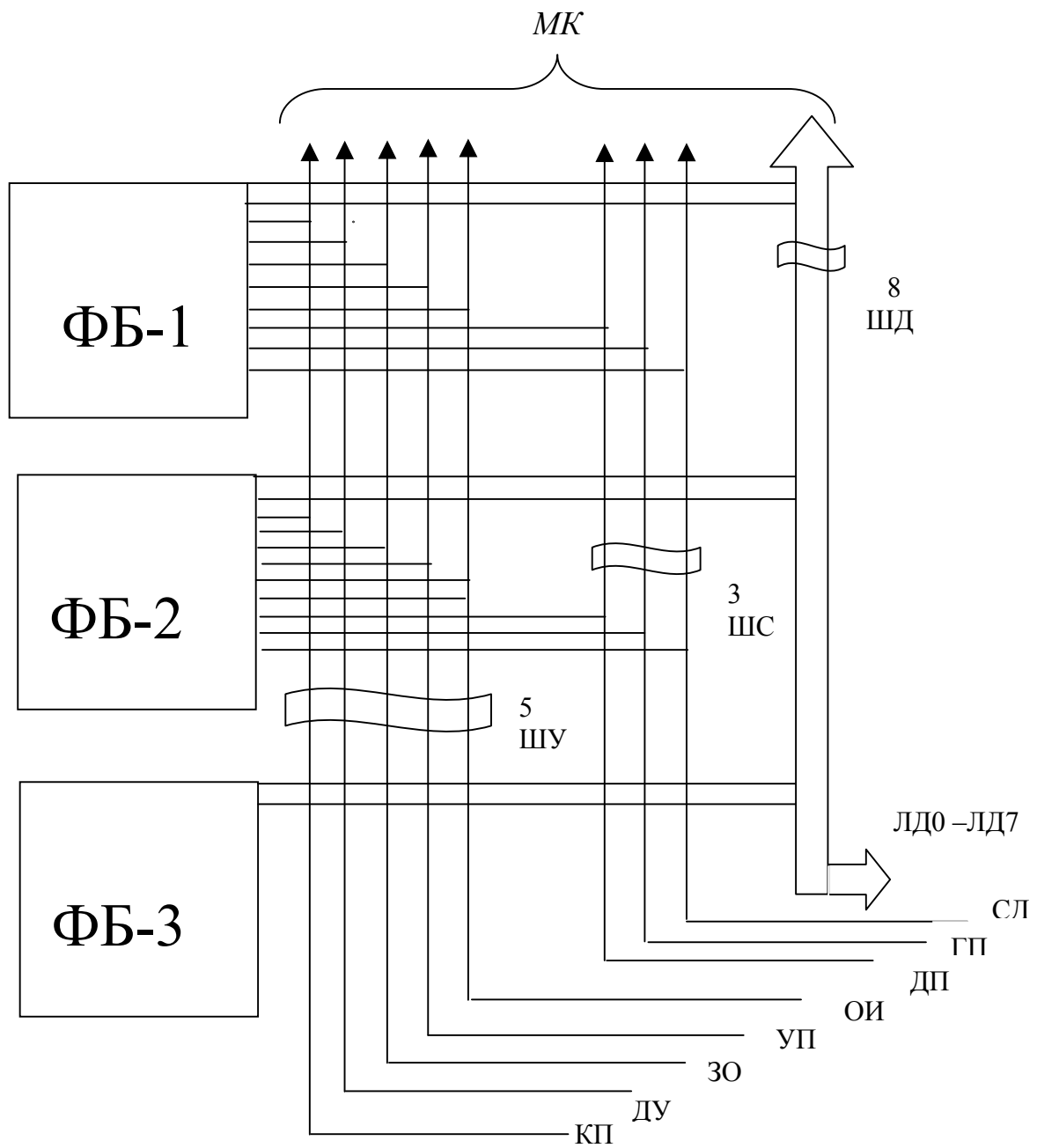


Рис. 4.4. Структура магистрального интерфейса в стандарте МЭК

ОИ – используется при запуске системы. Если ОИ – лог. “0” – прекращается работа МгК. Если ДУ – лог. “0” – устройство переключается на внешнее дистанционное управление. Если ДУ – лог. “1” – устройство находится под местным управлением. ЗО – лог. “0” – если какое-либо устройство посылает процессору запрос на обслуживание.

Стандарт МЭК разработан на основе известного приборного интерфейса IEEE-488 фирмы США и устанавливает основные требования на информационную совместимость электронных измерительных устройств.

#### **4.4. Интерфейс КАМАК**

Система КАМАК рекомендована к использованию Международной электротехнической комиссией (разрабатывалась с 1960 г.).

Интерфейс (ИФ) КАМАК предусматривает:

- возможность построения систем с двумя и более уровнями централизации;
- отдельные системы шин для информационных и управляющих потоков;
- магистральную систему шин, работающую совместно с несколькими радиальными шинами;
- параллельный порядок выполнения обмена информацией;
- синхронный обмен информацией, работу с любой ЭВМ;
- унификацию конструкции и питания.

1-я ступень централизации управления обеспечивается в крейте.

2-я ступень централизации обеспечивается в ветви, объединяющей до семи крейтов.

Возможно объединение нескольких ветвей. В крейте используется смешанная магистрально-радиальная система шин. Особенности системы КАМАК (рис.4.5.): модульный принцип построения, обеспечивающий возможность создания агрегатных комплексов; конструктивная однородность системы, достигаемая унификацией несущих конструкций для размещения ФБ; магистральная структура информационных связей между ФБ; применение программного управления, обеспечивающего гибкость реализуемых системой алгоритмов.

Основной конструктивной единицей системы КАМАК являются модули (М), размещенные в одном общем крейте. Обмен информацией в крейте происходит по горизонтали (внутрикрейтный обмен) и организуется контроллером. Обмен данными между крейтами, а также между ними и ЭВМ осуществляется по вертикали (межкрейтный обмен) и организуется центральным распределителем системы (ЦРС). Размещенные в крейте модули могут быть двух типов: рабочие модули М и контроллеры КК. Обмен информацией между рабочими модулями и контроллерами осуществляется через канал данных (КДК), являющийся частью структуры крейта. В крейте размещается до 25 модулей. Контроллер крейта через 23 линии выборки позволяет осуществлять адресное обращение к отдельным модулям. Для

внутримодульной адресации служит магистраль из 4-х субадресных шин, подходящих ко всем модулям.

Системные интерфейсы позволяют выделить три основные группы сигналов: данных, адреса, управления. В зависимости от принятой структуры эти сигналы могут передаваться либо по общим линиям связи с временным разделением сигналов, либо по своим специально выделенным линиям связи. Очень важно соблюдать временные соотношения (протокол обмена) между сигналами в магистрали.

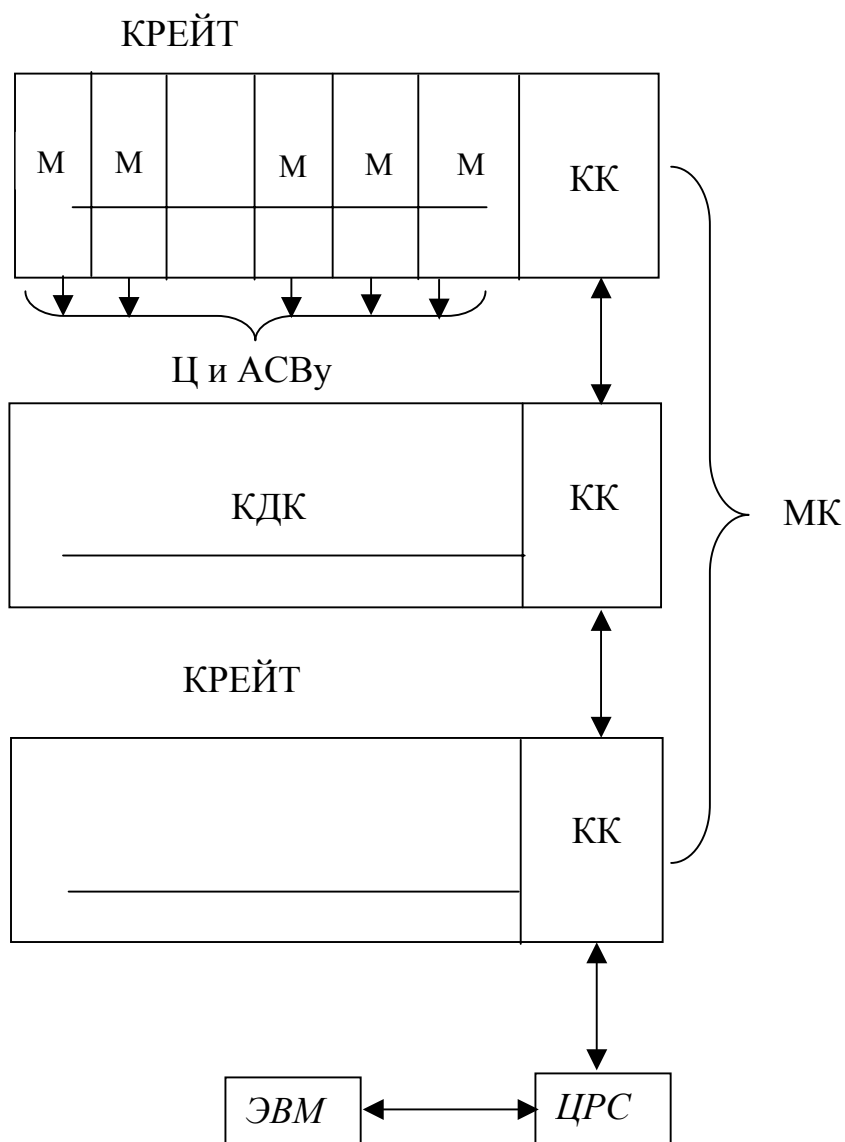


Рис.4.5. Структура системы КАМАК

М – модуль крейта, КК – контроллер крейта, КДК – канал данных крейта, ЦРС – центральный распределитель системы, МКО – межкрейтный канал обмена, Ц и АСВу – цифровые и аналоговые сигналы внешних устройств.

ИФ КАМАК является по существу объединением нескольких ИФ. Неоправданно применение КАМАК для создания относительно простых и медленно действующих устройств.

#### **4.5. Агрегатный комплекс средств электроизмерительной техники**

Принцип агрегатирования предусматривает создание сложных устройств методом наращивания и стыковки. При построении ИС, ИИС, АСУ используются типовые алгоритмы измерения, контроля, диагностики, управления, реализуемые на ограниченном базисе технических средств, которые могут компоноваться методом агрегатирования и относятся к Государственной системе промышленных приборов и средств автоматизации (ГСП). Состав, типы устройств ГСП и их характеристики определяются параметрическими рядами изделий (2000 типов промышленных приборов и средств автоматизации, 200 стандартов, 20 агрегатных комплексов) При проектировании ИИС используют каталоги ГСП.

ГСП – совокупность изделий, предназначенных для получения, обработки и использования информации, обеспечивающих информационное (метрологическое и функциональное) энергетическое и конструктивное сопряжение изделий в измерительные системы различного назначения, а также их точность, надежность, долговечность.

ГСП - развивающаяся система. К агрегатным комплексам широкого применения относятся:

АСЭТ - агрегатный комплекс средств электроизмерительной техники;

АСТГ – агрегатный комплекс средств телемеханической техники;

АСВТ - агрегатный комплекс средств вычислительной техники;

КТС ЛИУС – комплекс технических средств локальных информационно-управляющих систем.

АСЭТ ГСП объединяет устройства сбора и преобразования измерительной информации, электроизмерительные приборы, устройства отображения информации, ИВК универсального и специального назначения.

В рамках АСЭТ-3 используются БИС, микропроцессорные комплекты и микроЭВМ, функциональные блоки, объединенные с помощью интерфейса КАМАК.

Конструктивная совместимость изделий АСЭТ обеспечивается введением системы унифицированных типовых конструкций (УТК-2).

Информационная совместимость обеспечивается применением информационных сигналов, а также стандартных интерфейсов.

Эксплуатационная совместимость определена в НД на общие технические требования к изделиям. Разработаны системные МХ, определяющие метрологическую совместимость изделий АСЭТ, создается специальная метрологическая литература.

В АСЭТ-3 – предусмотрено изготовление функциональных блоков в приборном и модульном (соответственно они объединяются с помощью приборного или интерфейса КАМАК).

### *Вопросы для самоконтроля усвоения знаний*

1. Что такое измерительно-вычислительный комплекс?
2. Как измерительно-вычислительные комплексы подразделяются по назначению?
3. Охарактеризуйте технические компоненты измерительно-вычислительных комплексов.
4. Охарактеризуйте программные компоненты измерительно-вычислительных комплексов.
5. Рассмотрите основные варианты построения, особенности архитектуры и структурных схем измерительно-вычислительных комплексов.
6. Что представляет собой приборный стандартный интерфейс (стандарт МЭК)?
7. Охарактеризуйте систему КАМАК.

## **5. ИСПЫТАНИЯ И ПОВЕРКА ИИС**

[4, 9, 11, 12]

### **5.1. Испытания ИИС**

В целях обеспечения единства измерений проводят испытания ИИС. Различают:

- испытания, проводимые с целью признания законными конкретных образцов ИИС или ИИС определенного типа;
- испытания, проводимые с целью выяснения метрологических свойств ИИС (или отдельных ИК ИИС), в первую очередь диапазона измерений, чувствительности, определения условий применения, точностных характеристик и других особенностей.

Для ИИС и ИК ИИС, которые применяются в сферах распространения ГМКН, указанных в Законе Российской Федерации “Об обеспечении единства измерений”, проводятся испытания для целей утверждения типа. Для ИИС, которые применяются вне сфер распространения ГМКН, проводятся испытания для целей сертификации.

Испытания и утверждение типа включают:

- испытания для целей утверждения типа;

- принятие решения об утверждении типа;
- государственную регистрацию и выдачу сертификата об утверждении типа;
- испытания на соответствие утвержденному типу;
- информационное обслуживание потребителей измерительной техники, контрольных и надзорных органов и органов управления.

Во ВНИИМС разработана нормативная база испытаний и утверждения типа средств измерительной техники и информационно-измерительных технологий, которая гармонизирована с международным документом МОЗМ № 19 “Испытание и утверждение типа средств измерений”, принятых в 1998 году. Поскольку ИИС и ИК ИИС органами ГМКН рассматриваются как специфические разновидности СИ, то порядок проведения испытаний и утверждения типа для ИИС и ИК ИИС не должны противоречить положениям ПР 50.2.009 и МИ 2146 в части порядка проведения и общих требований к структуре и содержанию программ испытаний. Наиболее важными этапами полного цикла работ (начиная от подачи заявки и кончая государственной регистрацией ИИС), являются:

- подготовка к проведению испытаний;
- проведение испытаний;
- оформление результатов испытаний;
- утверждение типа, государственная регистрация и выдача сертификата.

Этапы “проведение испытаний” и “оформление результатов испытаний” осуществляются в соответствии с программой испытаний, утвержденной государственным центром испытаний средств измерений (ГЦИ СИ) или согласованной с ГЦИ СИ типовой программой.

Этап “Утверждение типа, государственная регистрация и выдача сертификата” осуществляется в соответствии с ПР 50.2.009.

Подготовка к проведению испытаний включает в себя:

- направление заявки на проведение испытаний;
- утверждение (согласование) программы испытаний;
- заключение договора (контракта) о проведении испытаний.

Программа испытаний должна содержать следующие разделы:

- краткое техническое описание ИИС;
- перечень ИК;
- перечень документации, предъявляемой на испытания;
- рассмотрение ТД на ИИС;
- испытание;
- оформление результатов испытаний.

В программе испытаний приводят полный перечень ИК ИИС со ссылками на разделы ТД на ИИС, где дано подробное описание ИК и их МХ. Если в состав ИК входят измерительные компоненты утвержденных типов, указывают их номера по государственному реестру. Для ИИС, у которых в

сфере распространения ГМКН используется только часть (из общего числа) ИК, перечень составляется только для этой части ИК.

В перечень документов, которые требуют ГЦИ, помимо плана-графика испытаний и программы испытаний, входят:

- ТЗ с дополнениями и изменениями к нему;
- проект ТУ (включая ТУ на составные части);
- проект эксплуатационной документации (ЭД), включая ЭД на составные части;
- проект НД по поверке при отсутствии соответствующего раздела в ЭД;
- протоколы и акты предварительных испытаний;
- документы, удостоверяющие поверку СИ, входящих в состав ИК, используемых в сфере распространения ГМКН;
- дополнительные материалы.

В настоящее время ТЗ на проектирование ИИС может отсутствовать, поскольку многие разработки проводятся в инициативном порядке. Однако для таких сложных систем, как ИИС, всегда необходим документ, заменяющий ТЗ при его отсутствии. При проведении испытаний желательно участие представителя заказчика. В обязательном порядке проводится проверка соответствия технических характеристик, приведенных в ТУ и (или) ЭД требованиям ТЗ или документа его заменяющего, а также требованиям НД, распространяющейся на испытываемую ИИС. При рассмотрении документации проводится проверка соответствия методов регламентации МХ ИК ИИС, методов и средств их определения и (или) контроля, приведенных в ТД на ИИС, требованиям НД ГСИ.

При этом проверяется:

- полнота и правильность учета всех факторов (особенности выпуска компонентов ИИС и их монтажа на объекте, разнесённость измерительных компонентов в пространстве, условия эксплуатации ИИС на объекте, структура ИИС, особенности алгоритмов обработки результатов измерений и т.п.) влияющих на выбор целесообразного способа регламентации МХ ИИС;
- достаточность комплексов нормируемых или экспериментально определяемых МХ измерительных компонентов ИИС и характеристик точности аттестованных алгоритмов и программ обработки данных для расчета по ним МХ ИК ИИС;
- наличие и правильность методик расчета МХ ИК ИИС по МХ входящих в них компонентов;
- наличие и правильность методов и средств экспериментального определения и (или) контроля МХ ИК ИИС и (или) их измерительных компонентов, методов достоверности передачи данных в линиях связи ИИС;

- достаточность регламентированного комплекса МХ ИК ИИС для определения точностных характеристик в реальных условиях её эксплуатации.

При рассмотрении ТД на ИИС проводится оценка возможности метрологического обслуживания ИИС в процессе эксплуатации; проверяется наличие в документации указаний по настройке и устранению возможных неисправностей ИИС; проводится оценка обеспеченности ИИС методами и средствами периодической поверки. Для ИИС импортного производства устанавливается возможность применения для поверки ИИС и их компонентов импортных эталонов, указанных в методике поверки ИИС или замены их на эталоны российского производства с учетом их конструктивной и иной совместимости с испытываемой ИИС.

По результатам рассмотрения ТД на ИИС могут быть приняты следующие решения:

- о целесообразности изменения комплекса МХ ИК ИИС (в том числе необходимости аттестации алгоритмов и программ обработки данных);
- о корректировке или доработке представленных методик испытаний образцов ИИС;
- о засчитывании результатов ранее проведенных испытаний образцов представленной ИИС.

Проверка функционирования образца ИИС проводится путем выполнения ряда проверок и операций, специальных тестов, обеспечивающих возможность работы образца в каждом из предусмотренных режимов и во всех диапазонах измерений, в соответствии с методиками, изложенными в эксплуатационной документации на ИИС.

В качестве дополнительных материалов служит документация, которая содержит:

- результаты исследовательских испытаний (моделей, макетов и т.п.), проводимых на этапах разработки, проектирования;
- результаты испытаний, относящихся к этапу “опытная эксплуатация”. В большинстве случаев речь идет о системах типа ИИС-3, или ИИС, входящих в качестве подсистем в более сложные автоматизированные системы;
- материалы аттестации алгоритмов и программ обработки измерительной информации.

В целом, в дополнительных материалах приводятся результаты испытаний, проводимых с целью выявления метрологических свойств ИИС. При отсутствии протоколов и актов предварительных и исследовательских испытаний ГЦИ проводит испытания, как по каждому пункту программы испытаний, так и серию дополнительных исследований, необходимых для определения метрологических свойств ИИС и подтверждения номенклатуры контролируемых параметров и установленных в ТД норм. В последнем



случае проведение испытаний для целей утверждения типа может растянуться на годы.

При предварительных исследованиях, проводимых разработчиком (часто с привлечением органов ГМС) проверяется неизменность метрологических свойств ИК ИИС во времени, зависимости от действия влияющих величин и возмущающих факторов на точность измерений и результат функционирования. На основании результатов предварительных исследований устанавливается минимум операций, которые необходимо выполнять в дальнейшем при поверке ИК ИИС, а также межповерочный интервал (МПИ). Это дает возможность на этапе испытаний для целей утверждения типа решить вопрос о дальнейшем метрологическом обслуживании данной ИИС.

При положительных результатах проведенных испытаний ИИС для целей утверждения её типа ГЦИ СИ утверждает (согласовывает) методику поверки, согласовывает описание типа и составляет акт испытаний в соответствии с требованиями ПР 50.2.009. При этом в описании типа, являющегося неотъемлемой частью сертификата об утверждении типа, указывают ИК (или компоненты, образующие ИК), на которые распространяется сертификат.

В ряде случаев при исследовании и испытании ИИС осуществляются процедуры, относящиеся к понятию метрологическая аттестация. Содержание метрологической аттестации раскрывается в определении, приведенном в РМГ 29-99. Метрологическая аттестация средств измерений (МА) – признание метрологической службой узаконенным для применения средств измерений единичного производства (или ввозимые единичными экземплярами из-за границы) на основании тщательных исследований их свойств.

Примечание – МА могут подлежать средства измерений, не подпадающие под сферы распространения ГМКН.

## 5.2. Поверка ИИС

Согласно определению ИИС обладают всеми признаками СИ. Соответственно все основные принципы, положенные в основу процедуры поверки СИ, распространяются на ИИС, их ИК и компоненты.

**Поверка средств измерений** – установление органом государственной метрологической службы (или другим официально уполномоченным органом, организацией) пригодности средств измерений к применению, на основании экспериментально определяемых метрологических характеристик и подтверждения их соответствия установленным обязательным требованиям.

Поверке подвергают СИ, подлежащие ГМКН.

При этом разделяют следующие виды поверки:

– первичную поверку;

- периодическую поверку;
- внеочередную поверку;
- инспекционную поверку;
- комплектную поверку;
- поэлементную поверку.

Первичная поверка выполняется при выпуске СИ из производства или после ремонта, а также при ввозе СИ из-за границы партиями, при продаже. Периодической поверке подвергаются СИ, находящиеся в эксплуатации или на хранении. Периодическая поверка выполняется через установленные МПИ. Внеочередной называется поверка, проводимая до наступления срока очередной периодической поверки. Инспекционная поверка проводится органом ГМКН при проведении государственного надзора за состоянием и применением СИ. Комплектной называют поверку, при которой определяются МХ СИ, присущие ему как единому целому. Поэлементной называют поверку, при которой значения МХ СИ устанавливаются по МХ его составных элементов или частей. Поэлементная поверка характерна для ИС и ИИС.

Как следует из определения, поверка представляет собой процедуру контроля, неотъемлемой частью которой является экспериментальное определение МХ объекта контроля. Наиболее предпочтительным способом контроля и определения МХ ИК ИИС и их компонентов является “сквозной” метод. При “сквозном” методе на вход ИК ИИС подается образцовый сигнал, имитирующий измеряемую величину. На выходе контролируемого ИК ИИС снимается выходной сигнал (результат измерения). Полученные в результате эксперимента значения МХ служат для сравнения с нормированными МХ контролируемого ИК ИИС. Необходимыми условиями для применения “сквозного” метода определения и контроля МХ являются:

- наличие доступа ко входу ИК. Ограничение доступа может быть обусловлено конструкцией или способами установки первичных измерительных преобразователей (датчиков), наличием “вредной среды” в местах их расположения, климатическими условиями и т.п.;
- возможность задания необходимого набора всех существенных для поверки ИК ИИС значений влияющих величин, характерных для условий эксплуатации ИИС;
- наличие эталонов и средств задания измеряемых величин.

В тех случаях, когда для ИК ИИС не выполняются перечисленные выше условия применения “сквозного” метода контроля и определения МХ ИК ИИС, применяют расчетно-экспериментальный способ. В ИК выделяется такая его часть, которая состоит из компонентов с нормированными МХ, для которой применим “сквозной” метод. Желательно, чтобы в доступную часть ИК входило как можно большее число его компонентов, чтобы по возможности охватить при контроле МХ линии связи, функциональные преобразователи, устройства связи с объектом, вычислительные устройства.

МХ ИК в целом вычисляются по определенным экспериментально МХ доступной части и нормированным или приписанным МХ (по результатам ранее проведенных экспериментальных исследований) недоступной части ИК.

Выбор экспериментального метода определения и контроля МХ ИК ИИС зависит от ряда влияющих факторов, определяющих постановку и проведение эксперимента. На выбор указанных методов влияет также наличие или отсутствие априорных сведений о метрологических свойствах ИК ИИС, вид ИК. Априорные сведения о составе и существенности влияющих факторов могут быть получены: из НД и ТД на ИИС. При отсутствии априорных сведений по составу и существенности факторов, влияющих на точность измерений, проводят предварительное исследование метрологических свойств ИК ИИС. Такие исследования обычно проводят в рамках исследовательских или предварительных испытаний, осуществляемых на этапах разработки, проектирования ИИС или ввода её в эксплуатацию. В рамках поверочных работ подобные исследования не проводятся.

Методика поверки ИК конкретных образцов ИИС разрабатывается на стадии разработки, предварительных исследований, проверяется и утверждается на стадии проведения испытаний для целей утверждения типа. Разработаны и используются некоторые обобщенные методы контроля МХ, используемые при поверке ИК ИИС. Однако, учитывая сложность состава ИИС, методики поверки в подавляющем большинстве случаев индивидуальны для конкретных образцов или типов ИИС. Далее приведены некоторые из общих методов контроля.

Рассмотрим случай, когда преобладают влияющие факторы, которые приводят к закономерному искажению результатов измерений, а стандартным отклонением (мерой неопределенности, оцениваемой по типу А) можно пренебречь. Структурная схема для выполнения поверки аналоговых и цифроаналоговых ИК приведена на рис.5.1.



*Рис. 5.1. Структурная схема поверки ИК*

Эталон 1 задает при входе ИК значения измеряемой величины, соответствующие проверяемым точкам диапазона измерений. При поверке цифроаналоговых ИК в качестве эталона 1 используется произвольный задатчик кодов. Эталон 2 измеряет значения выходных сигналов ИК (в

частном случае, когда на выходе ИК установлен показывающий аналоговый измерительный прибор, считываются его показания). Для каждой проверяемой точки  $X$  входного сигнала вычисляются нижняя  $V_b$  и верхняя  $V_t$  границы, в пределах которых могут находиться выходные сигналы ИК (показания эталона 2).

$$\begin{aligned} V_b &= F_n(X) - D_o \\ V_t &= F_n(X) + D_o \end{aligned} \quad , \quad (5.1)$$

где  $F_n(X)$  - значение выходного сигнала ИК, вычисленное для проверяемой точки  $X$  по номинальной функции преобразования ИК;

$D_o$  - граница (предел) допускаемых отклонений выходного сигнала ИК от номинального значения.

При необходимости может вводиться контрольный допуск, равный 0,8 границы  $D_o$ . По эталону 1 устанавливаются последовательно значения  $X$ , соответствующие проверяемым точкам диапазона измерений, считывают и регистрируют показания эталона 2. Если для всех проверяемых точек  $X$  выполняется неравенство

$$V_b \leq Y(X) \leq V_t \quad , \quad (5.2)$$

где  $Y(X)$  - значение выходного сигнала ИК при входном сигнале равном  $X$ . ИК считается удовлетворяющим заданным требованиям (годным). Если хотя бы в одной из проверяемых точек это неравенство не выполняется, то ИК считается не удовлетворяющим заданным требованиям (бракуется).

Структурная схема для выполнения поверки аналого-цифровых ИК приведена на рис.5.2. Рассмотрим аналогичный случай, когда преобладают влияющие факторы, которые приводят к закономерному искажению результатов измерений, а стандартным отклонением (мерой неопределенности, оцениваемой по типу А) можно пренебречь.

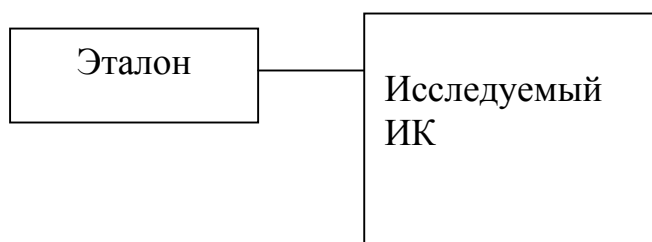


Рис.5.2. Структурная схема поверки аналого-цифровых ИК

Эталон задает на входе ИК значения  $X$  измеряемой величины или ее носителя, соответствующие проверяемым точкам диапазона измерений. На выходе ИК получается код (показание)  $N$ , которое может быть считано экспериментатором или автоматическим устройством. Для каждой проверяемой точки  $N_o$  (для аналого-цифровых ИК проверяемые точки задают

указанием значения  $N_0$  выходного кода или показания) вычисляют значения  $X_{k1}$  и контрольных сигналов по формулам:

$$\begin{aligned} X_{k1} &= F_{no}(N_0) - D_0 \\ X_{k2} &= F_{no}(N_0) + D_0 \end{aligned} \quad , \quad (5.3)$$

где  $F_{no}(N_0)$  – значение входного сигнала ИК, вычисленное для проверяемой точки по номинальной обратной функции преобразования ИК;

$D_0$  - граница допускаемых отклонений входного сигнала от номинального значения.

При необходимости может вводиться контрольный допуск, равный 0,8 границы  $D_0$ .

Устанавливают значение величины  $X$ , подаваемой на вход ИК, равным  $X_{k1}$  и регистрируют выходной код (показание)  $N_1$  проверяемого ИК. Если удовлетворяется неравенство  $N_1 \geq N_0$ , проверяемый ИК бракуют. В противном случае устанавливают значение величины  $X$ , подаваемой на вход ИК, равным  $X_{k2}$  и регистрируют выходной код (показание)  $N_2$  проверяемого ИК. Если удовлетворяется неравенство  $N_2 \leq N_0$ , проверяемый ИК бракуют. ИК должен удовлетворять установленным нормам для всех контролируемых точек диапазона измерений.

ИИС и ИК ИИС, не подлежащие ГМКН, подвергаются калибровке. Несмотря на то, что в разделении понятий поверка и калибровка основным является законодательный аспект, содержание работ по калибровке несколько отличается от содержания работ по поверке, что следует из определения, приведенного в РМГ 29-99:

*Калибровка средств измерений* – совокупность операций, устанавливающих соотношение между значением величины, полученной с помощью данного средства измерений и соответствующим значением величины, определенным с помощью эталона с целью определения действительных метрологических характеристик этого средства измерений.

Далее в РМГ 29-99 следует примечание, в котором указывается, что результаты калибровки позволяют определять поправки и другие МХ СИ. Учитывая тот факт, что эксплуатация ИИС часто происходит в условиях дефицита априорной информации о МХ её компонентов и ИИС в целом, поверочные работы (также как и работы по калибровке) должны осуществляться с учетом необходимости постоянного уточнения МХ ИИС, степени их деградации во времени, установления и корректировки МПИ, которые часто (в отношении ИИС-3 как правило) являются индивидуальными для каждого конкретного образца ИИС. При разработке и МЭ методик поверки (калибровки), проведении испытаний для целей утверждения типа этот факт должен учитываться как разработчиком, так и заказчиком. Результаты поверок и калибровок должны являться одной из самых важных составляющих информации, которую следует принимать во внимание при анализе изменения МХ ИК ИИС.

### **5.3. Проблемы и тенденции развития в области испытаний и поверки ИИС.**

Проблемы проведения испытаний СИ и ИИС тесно связаны с проблемами их метрологической надежности, под которой понимается способность СИ (ИИС) сохранять установленные значения МХ в течение заданного времени при определенных режимах и условиях эксплуатации. Учитывая уникальность каждой ИИС, проблема сводится к вопросу обеспечения постоянного мониторинга за характером изменения МХ ИИС и ее компонентов на месте эксплуатации ИИС, использование полученной при этом информации для корректировки МПИ. Один из важных путей решения этой задачи – развитие и совершенствование методов самокалибровки и самодиагностики ИК ИИС.

Для многих ИИС характерен автономный – в метрологическом смысле – режим использования, когда не может быть реализована ее оперативная связь с вышестоящими по поверочной схеме средствами. Автономный режим использования ИИС является одним из источников проблемы децентрализации в системе обеспечения единства измерений. Если для традиционно используемых средств привязка к эталону означает, в конечном итоге, перемещение к месту его дислокации, то для автономной ИИС необходимо встречное движение эталона к месту ее размещения. Соответственно необходима разработка и совершенствование транспортируемых эталонов, необходимых для поверки и калибровки ИК ИИС. При этом необходимо учитывать, что транспортируемые эталоны часто будут использоваться в условиях, отличных от условий хранения и применения эталонов в организациях ГМС и ГНМЦ. Вопросы о методиках и необходимости использования транспортируемых эталонов должны быть решены на стадиях разработки и испытаний ИИС.

При развитии ИИС проявляются общие тенденции в развитии измерительной техники:

- возрастание точности, расширение номенклатуры измеряемых величин и измерительных задач, расширение диапазонов измерений;
- обеспечение доступа потребителей к средствам измерений высшей точности;
- обеспечение измерений в условиях воздействия “жестких” внешних факторов (высокая температура, большое давление, ионизирующее излучение и т.д.)

Расширение номенклатуры измеряемых величин в рамках одной ИИС приводит к необходимости “привязки” ИИС к нескольким поверочным схемам. Для решения вопросов самокалибровки необходимо наличие в структуре ИИС встроенных эталонов, что приводит к росту требований по точности к транспортируемым эталонам и практический выход в высшие звенья поверочных схем.

Следует отметить, что в настоящее время существуют две противоположные тенденции в развитии техники восприятия входных величин. В соответствии с одной точкой зрения максимум операций по формированию наиболее подходящего для дальнейшего преобразования сигнала следует выполнять в первичном измерительном преобразователе (датчике). Применение интегральных технологий для изготовления чувствительных элементов создает благоприятные возможности производства различных интеллектуальных датчиков, представляющих собой интегральные системы сбора и предварительной обработки результатов измерений. Подобные датчики должны формировать сигналы, не требующие обязательного усиления, иметь слабую чувствительность к влияющим факторам. Учитывая необходимость установки таких датчиков на объекте, что увеличивает недоступную часть ИК ИИС, появляется необходимость в дальнейшем совершенствовании расчетно-экспериментальных методов определения МХ и их контроля. Повышаются требования к индивидуальной градуировке интеллектуальных датчиков.

В области наиболее массовых измерений, например температуры с помощью термопар, основная задача по преобразованию сигналов от датчиков с минимальными потерями измерительной информации решается с помощью ИК. В данном случае используются простые датчики с типовыми характеристиками. В качестве примера могут служить испытания крупных турбогенераторов, при которых в разных точках испытуемого изделия размещают сотни датчиков, рассчитанных на различные диапазоны температур. В данном случае необходимо совершенствование методов испытаний многоканальных ИИС.

#### *Вопросы для самоконтроля усвоения знаний*

1. В каких случаях проводят испытания для целей утверждения типа информационно-измерительных систем и что они включают?
2. Перечислите основные этапы полного цикла работ по утверждению типа информационно-измерительных систем и дайте краткую характеристику каждого этапа.
3. Перечислите разделы, которые должна содержать программа испытаний информационно-измерительных систем и дайте краткую характеристику каждого раздела.
4. Какие задачи решаются при проверке соответствия методов и средств регламентации и контроля метрологических характеристик информационно-измерительных систем требованиям нормативной документации?
5. Какая документация служит в качестве дополнительных материалов, представляемых заказчиком при проведении испытаний для целей утверждения типа?
6. Назовите виды поверки и охарактеризуйте каждый из них.

7. От чего зависит выбор экспериментальных и расчетных методов определения и контроля метрологических характеристик измерительных каналов информационно-измерительных систем?

8. С какими целями проводится калибровка измерительных каналов информационно-измерительных систем?

9. Охарактеризуйте основные тенденции в области испытаний и поверки информационно-измерительных систем.

## Литература

1. Цапенко М.П. Измерительные информационные системы: Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 357 с.
2. Метрологическое обеспечение измерительных информационных систем (теория, методология, организация)/Е.Т. Удовиченко, А.А. Брагин, А.Л. Семенюк и др. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 192 с.
3. Руководство по выражению неопределенности измерения / Под ред. проф. Слаева В.А.; Перевод и публикация ГП “ВНИИМ им. Д.И. Менделеева”. – СПб.: ООО “Типография ЛИТАС+”, 1999.- 126 с.
4. Селиванов М.Н., Фридман А.Э., Кудряшова Ж.Ф. Качество измерений: Метрологическая справочная книга. – Л.: Лениздат, 1987. – 295 с.
5. Новицкий П.В. Основы информационной теории измерительных устройств. – Л.: Энергия, 1968. – 248 с.
6. Сергеев А.Г., Крохин В.В. Метрология: Учебное пособие для вузов. – М.: Логос, 2001. – 408 с.
7. Х. Харт. Введение в измерительную технику: Пер. с нем. – М.: Мир, 1999. - 391 с.
8. М.П. Цапенко, В.Г. Кнорринг. Очерки современных измерений / Новосибирский гос. тех. ун-т. – Новосибирск, 1994. – 205 с.
9. В.А. Грановский. Системная метрология: метрологические системы и метрология систем / ГНЦ РФ ЦНИИ “Электроприбор” – СПб.:1999. – 360 с.
10. М.Н. Селиванов. Развитие основных понятий метрологии.//В сборнике научных трудов НПО ВНИИМ им. Д.И. Менделеева. Анализ и формализация измерительного эксперимента. – Л.: Энергоатомиздат, 1986.- с.23-29.
11. Российская Метрологическая Энциклопедия. – СПб.: Изд-во Лики России, 2001. - 839 с.
12. Рекомендации по межгосударственной стандартизации РМГ 29-99 “ГСИ. Метрология: Основные термины и определения. / Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. – М.: Изд-во стандартов, 2000.- 46 с.



## Оглавление

Предисловие . . . . .	3
1. Информационно-измерительные системы и особенности их метрологического обеспечения. Назначение и виды ИИС. . . . .	4
2. Задачи и содержание работ по метрологическому обеспечению ИИС. . .	18
3. Методы определения метрологических характеристик ИИС . . . . .	25
4. Измерительно-вычислительные комплексы (ИВК) . . . . .	52
5. Испытания и поверка ИИС . . . . .	62
Литература . . . . .	73

**Раиса Никифоровна Парахуда  
Борис Яковлевич Литвинов**

**Информационно-измерительные системы**

Письменные лекции

**Редактор М.Ю. Комарова**  
**Сводный темплан 2002 г.**  
**Лицензия ЛР № 020308 от 14.07.97**

---

Подписано в печать			Формат 60x84 1/16.
Б. кн. – журн.	П.л.	Б.л.	РТП РИО СЗТУ.
Тираж 100			Заказ

---

Северо-Западный государственный заочный технический университет  
РИО СЗТУ , член Издательско-полиграфической ассоциации  
вузов Санкт-Петербурга  
191186, Санкт – Петербург, ул. Миллионная,5