

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра метрологии и стандартизации

В. Г. Басов

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Учебно-методическое пособие
для студентов специальности
«Метрологическое обеспечение информационных
систем и сетей»
дневной формы обучения

В 3-х частях

Часть 2

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Минск 2007

УДК 621.317.7 (075.8)
ББК 32.842 я7
Б 27

Р е ц е н з е н т
заместитель директора ООО «Элтикон»,
кандидат технических наук
А. В. Пахоменко

Басов, В. Г.

Б 27 Информационно-измерительные системы. Основы проектирования : учеб.-метод. пособие для студ. спец. «Метрологическое обеспечение информационных систем и сетей» дневн. формы обуч. В 3 ч. Ч. 2 / В. Г. Басов. – Минск : БГУИР, 2007. – 78 с.
ISBN 978-985-488-127-0 (ч. 2)

Во второй части учебного пособия рассматриваются способы построения информационно-измерительных систем различного назначения и основы их проектирования. Рассматриваются нормируемые метрологические характеристики на основе общего подхода к определению погрешности измерительного канала.

УДК 621.317.7 (075.8)
ББК 32.842я7

Часть 1. Басов, В. Г. Информационно-измерительные системы : учеб.-метод. пособие для студ. спец. «Метрологическое обеспечение информационных систем и сетей». В 3 ч. Ч. 1 : Принципы построения / В. Г. Басов. – Минск : БГУИР, 2006. – 91 с.

ISBN 978-985-488-127-0 (ч. 2)
ISBN 978-985-488-139-3
ISBN 985-444-940-8

© Басов В. Г., 2007
© УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 2007

Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ИИС.....	5
1.1 ИИС ближнего действия	5
1.1.1 Сканирующие измерительные системы	5
1.1.2 Мультиплицированные развертывающие системы	6
1.1.3 Системы параллельно-последовательного действия	7
1.1.4 Принципы построения систем для косвенных измерений	8
1.2 Системы телеконтроля и телеизмерения.....	10
1.2.1 Основные требования, предъявляемые к системам телеконтроля и телеизмерения.....	10
1.2.2 Принципы построения проводных систем телеизмерения и телеконтроля.....	11
1.2.3 Принципы построения радиотелеизмерительных систем	12
1.3 Системы технической диагностики.....	13
1.3.1 Характеристики систем технической диагностики.....	13
1.3.2 Принципы построения систем диагностики.....	14
1.3.3 Методы диагностики систем	16
2 ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИИС.....	19
2.1 Постановка задачи и этапы проектирования.....	19
2.2 Испытания ИИС в процессе проектирования и производства	22
2.3 Оценка качества ИИС.....	25
2.4 Надежность ИИС и критерии ее оценки	26
2.5 Методы обеспечения надежности ИИС	28
3 НОРМИРУЕМЫЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИИС.....	30
3.1 Общие положения.....	30
3.2 Нормируемые метрологические характеристики ИИС	30
3.3 Технические средства метрологических поверок ИИС.....	31
3.4 Общие вопросы погрешностей измерительного канала ИИС.....	32
3.5 Общий подход к определению погрешности измерительного канала	36
3.5.1 Основные положения общего подхода.....	36
3.5.2 Моделирование измерительного канала ИИС	40
3.5.3 Учет нестационарности ИП.....	42
3.5.4 Погрешности ИК.....	44
3.6 Калибровка измерительных каналов ИИС	46
4 ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ ИИС.....	51
4.1 Структурные схемы ИИС.....	51
ЛИТЕРАТУРА	60
ПРИЛОЖЕНИЕ А Первичные преобразователи	64
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Типовые платы для сбора и обработки сигналов	71
ПРИЛОЖЕНИЕ В Типовые модули для ввода–вывода дискретных сигналов	74
ПРИЛОЖЕНИЕ Г Типовые платы релейных коммутаторов.....	75
ПРИЛОЖЕНИЕ Д Типовые платы АЦП и ЦАП	76

ВВЕДЕНИЕ

Для обеспечения высоких темпов научно-технического прогресса, повышения производительности труда и качества изготавливаемой продукции в настоящее время широко применяются информационно-измерительные системы (ИИС), которые позволяют в автоматическом режиме осуществлять одновременное измерение многих величин и обрабатывать результаты измерения. По ГОСТ 8.437–81 ИИС определены как «совокупность функционально объединенных измерительных, вычислительных и других вспомогательных технических средств для получения измерительной информации, ее преобразования, обработки в целях представления потребителю в требуемом виде либо автоматического осуществления логических функций контроля, диагностики, идентификации».

Передача измерительной информации от датчика до потребителя информации осуществляется с помощью измерительных систем (ИС), которые представляют «совокупность определенным образом соединенных между собой средств измерений и других технических устройств (компонентов измерительной системы), образующих измерительные каналы (ИК), реализующих процесс измерений и обеспечивающих 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» [1].

Практическое использование той или иной ИИС предполагает регламентацию [2] и определение метрологических характеристик (МХ) измерительных каналов (ИК), входящих в состав ИИС [3, 4].

Вторая часть учебного пособия посвящена вопросам проектирования ИИС и ИК, определению их структурных схем, выбору типовых унифицированных измерительных преобразователей, образующих измерительные каналы (ИК), нахождению его метрологических характеристик (МХ).

1 ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ИИС

1.1 ИИС ближнего действия

1.1.1 Сканирующие измерительные системы

Сканирующими измерительными системами называются такие, с помощью которых, просматривая поля каких-либо событий, т.е. сканируя, получают информацию о состоянии этих полей [5 – 8, 57].

Наиболее широко сканирующие системы применяются в химической и металлургической промышленности для анализа температурных полей. Эти системы используются также для исследования полей скорости и расхода некоторого физического носителя.

В машиностроении сканирующие системы используются для контроля качества обработки больших поверхностей, для измерения (контроля) размеров деталей сложной формы и т.д.

В приборостроении сканирующие системы используются для исследования тепловых полей, например монтажных плат по перегреву, что позволяет быстро обнаруживать неисправности электронной аппаратуры.

В сканирующих системах производится разложение исследуемого поля на большое число элементов с последующим преобразованием значения параметра в каждом элементе в электрический сигнал. Просмотр поля осуществляется либо сканирующим устройством, либо множеством точечных датчиков, размещенных на поле и подключаемых ко входу системы в соответствии с выбранной программой (рисунок 1).

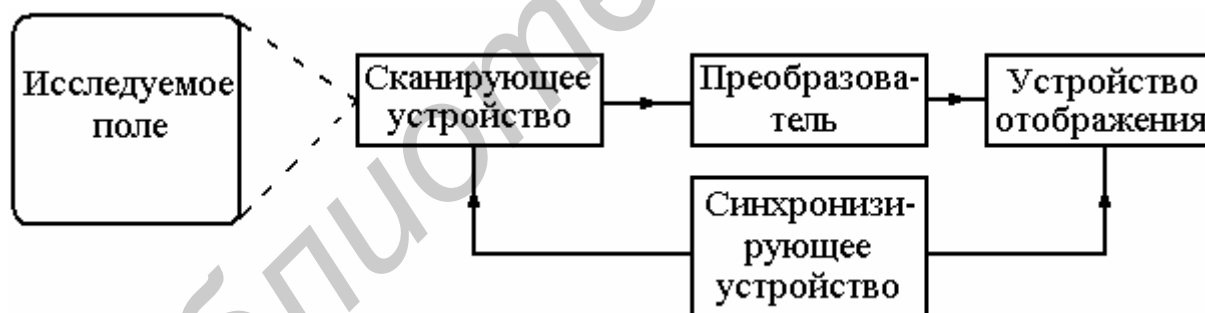


Рисунок 1 – Структурная схема сканирующей ИИС

При просмотре любого поля движение сканирующего устройства должно осуществляться по двум координатам. В зависимости от того, какое движение совершает сканирующее устройство, получается та или иная развертка исследуемого поля: построчная, круговая, спиральная и т.д. Траекторию сканирования выбирают в соответствии с конфигурацией поля.

В качестве сканирующего устройства для развертки поля по двум координатам могут применяться как подвижные чувствительные элементы, так и неподвижные. В первом случае чувствительный элемент с помощью специальных механических или оптико-механических устройств сканируется в пространстве. Во втором случае используются n размещенных в пространстве

неподвижных чувствительных элементов. Исследуемое поле может отображаться как на экране ЭЛТ, так и графически с помощью графопостроителей.

1.1.2 Мультиплицированные развертывающие системы

Принцип действия развертывающих систем (РС) основан на том, что определенная физическая величина $s(t)$ периодически изменяется в пределах всех возможных значений измеряемой величины $x(t)$ и в моменты равенства этих величин происходит воздействие на регистрирующее устройство. Таким образом, измеряемая величина $x(t)$ преобразуется в интервал времени T_x , лежащий между началом изменения величины $s(t)$ и моментом равенства $s(t)$ и $x(t)$. Подобный метод называют времяимпульсной или широтно-импульсной модуляцией [5].

Простейшее развертывающее устройство для измерения одного параметра должно содержать сравнивающее устройство, на которое одновременно воздействуют две величины: линейно изменяющаяся $s(t)$ и измеряемая величина $x(t)$. В момент равенства этих величин на выходе сравнивающего устройства появляется импульс $i(t)$. На рисунке 2 показан принцип развертывающего преобразования с помощью последовательно мультиплицированного моста.

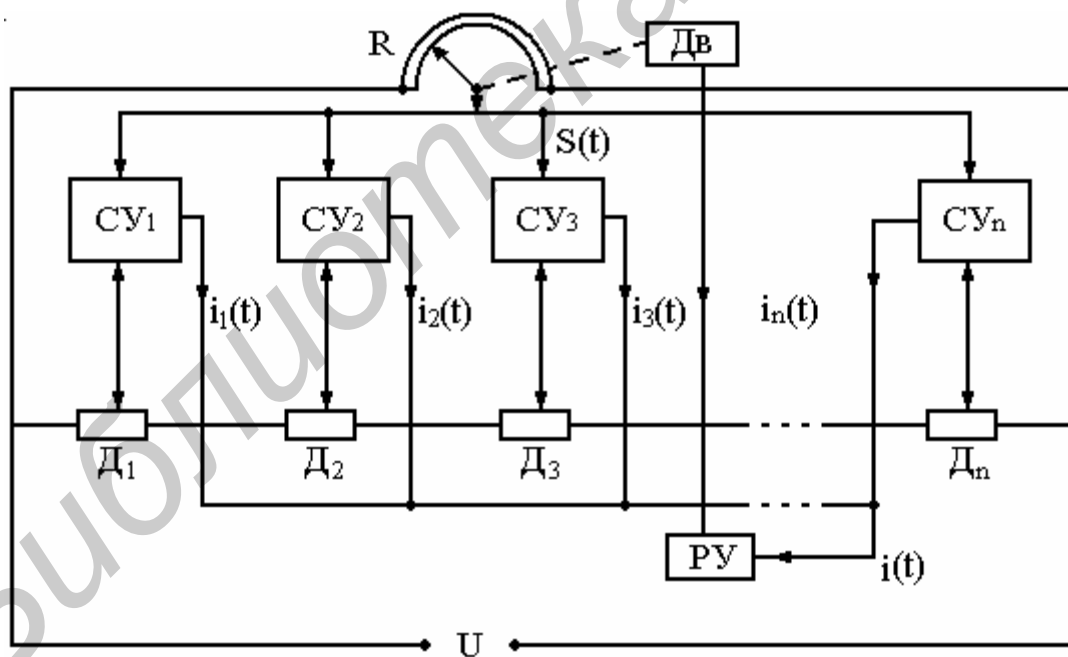


Рисунок 2 – Структурная схема мультиплицированной развертывающей ИИС

Процесс развертывающего преобразования для $N = 3$ (трехканальная система) можно показать на графиках (рисунок 3). В этом случае развертывающая функция $s(t)$ делится по амплитуде на три равные части или зоны, причем каждый из измеряемых параметров располагается внутри своей зоны, не выходя за ее пределы. Таким образом, происходит как бы разделение каналов по уровню. Диапазоны изменения всех параметров принимаются

одинаковыми. Выходной сигнал можно получить дифференцированием задних фронтов прямоугольных импульсов. Выходные импульсы $i_{\text{ВЫХ}}(t)$, соответствующие разным измеряемым параметрам по времени, также лежат в трех разных зонах, разделение которых не представляет трудности. Схема мультиплицированного последовательного моста (рисунок 2) содержит «n» резистивных датчиков $D_1 \dots D_n$ и «n» сравнивающих устройств (СУ). Развертка создается с помощью реохорда (R), движок которого приводится в действие двигателем (Дв). Разнесенные по времени выходные импульсы сравнивающих устройств по общей линии подаются на общее регистрирующее устройство (РУ). Достоинством таких мультиплицированных систем является возможность одновременного измерения и регистрации многих параметров при отсутствии коммутирующих устройств. Недостаток этих систем – взаимное влияние развертывающих устройств, вызывающее погрешности преобразования.

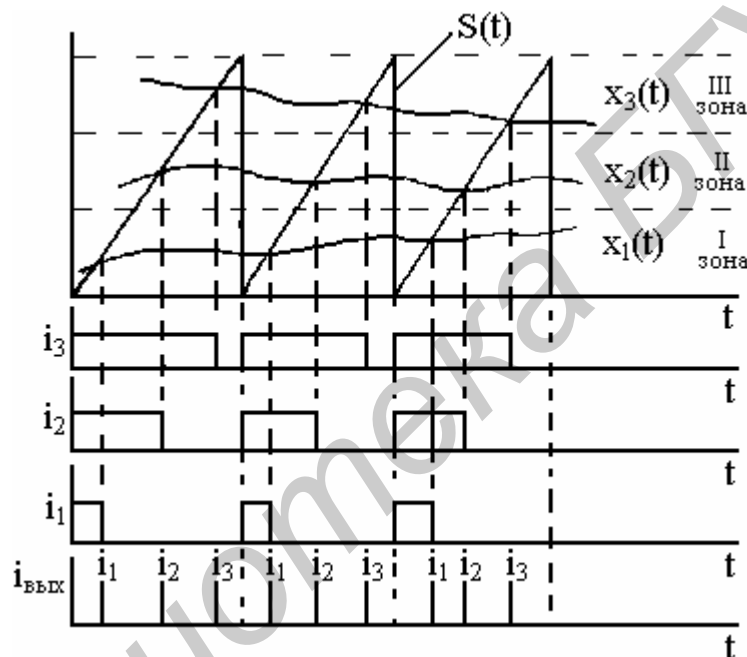


Рисунок 3 – Временные диаграммы процесса развертывающего преобразования

1.1.3 Системы параллельно-последовательного действия

Структурная схема системы параллельно-последовательного действия показана на рисунке 4. Число измерительных «модулей» в системе может достигать до 30, а быстродействие каждого модуля составляет до 100 измерений в секунду. Каждый из «модулей» состоит из 100-канального коммутатора и цифрового моста, в одно из плеч которого включаются датчики.

Результаты измерения с выхода измерительных «модулей» в виде десятиразрядного кода через устройство связи вводятся в ЭВМ, в которой и осуществляется вся обработка информации. Результаты обработки также через устройство связи (интерфейс) поступают на устройства представления. Устройства представления включают: мнемосхему состояния объекта, быстродействующее цифропечатающее устройство, цифровые индикаторы, а также построители графиков и эпюр. В системе предусмотрена запись

информации в запоминающее устройство ЭВМ с выводом ее на устройства представления. В качестве примера такая система может быть использована для автоматизации научных исследований в целях измерения деформаций при испытаниях конструкций на прочность, когда в качестве датчиков используются тензорезисторы, или для контроля температурного режима какого-либо объекта с использованием в качестве датчиков терморезисторов или термопар. Такие системы широко применяются для контроля технологических процессов в химической, нефтеперерабатывающей, металлургической промышленности.

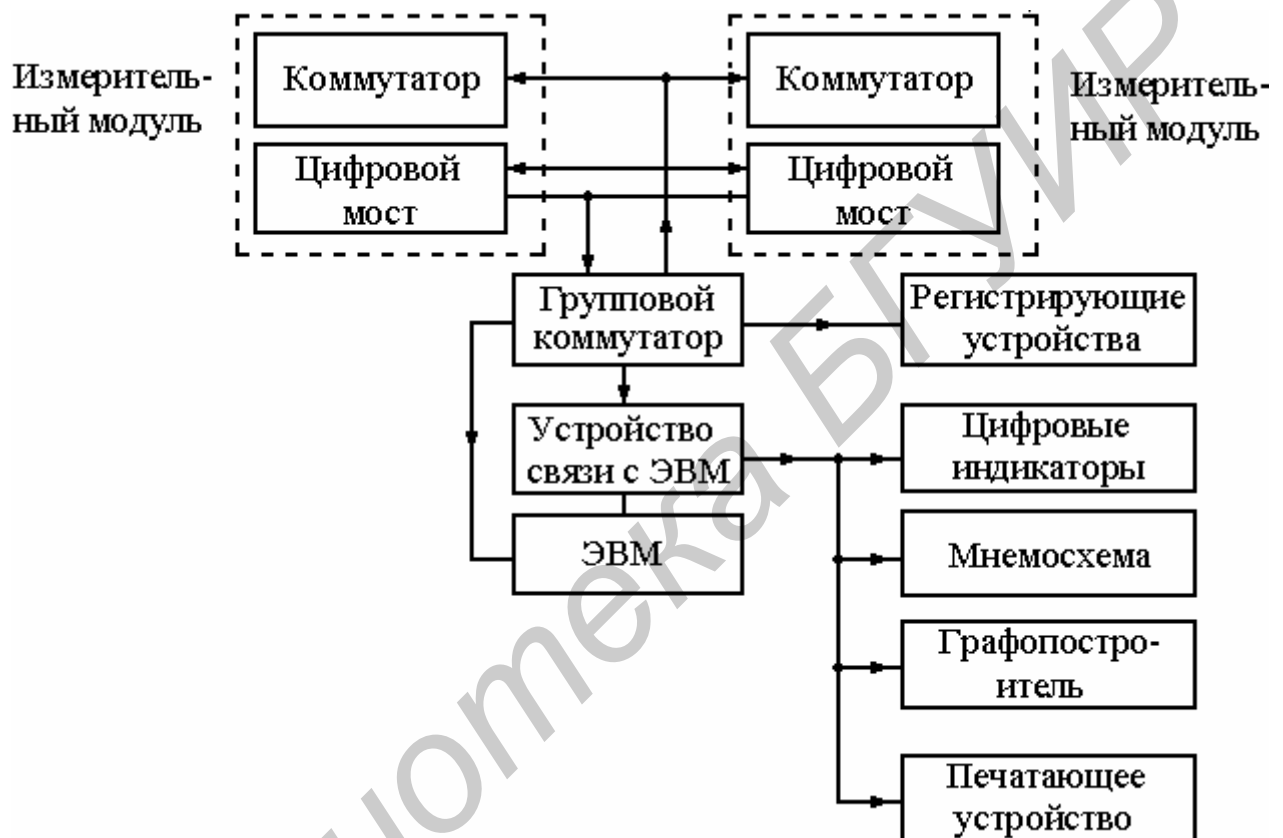


Рисунок 4 – Структурная схема ИИС параллельно-последовательного действия

1.1.4 Принципы построения систем для косвенных измерений

В ряде случаев при проведении косвенных измерений можно отказаться от специализированных ЭВМ и получать необходимый результат незначительным усложнением измерительного устройства, используя многоканальные измерительные системы, применяя при этом такие типы датчиков и их выходные сигналы, чтобы вычислительные операции производились наиболее просто [5]. В качестве примера рассмотрим возможную схему (рисунок 5) системы, определяющей КПД парового котла η по следующей формуле:

$$\eta = \frac{D(i_0 - i_{пв})}{BQ}, \quad (1)$$

где D – расход пара;

i_0 – теплосодержание пара;

$i_{\text{пв}}$ – теплосодержание питающей воды;

B – расход топлива;

Q – теплотворная способность топлива.

В качестве датчиков для измерения расхода пара (D) и топлива (B) выбираем частотные датчики (D_3 и D_5). Так как теплосодержание пара (i_0) и воды ($i_{\text{пв}}$) пропорционально их температуре, его определение в обоих случаях сводится к нахождению температуры с помощью термопар (датчики D_1 и D_2). О теплотворной способности Q также можно судить по температуре, используя для ее измерения термопару (D_4). Таким образом, значения величин D и B можно отобразить частотами f_1 и f_2 , а i_0 , $i_{\text{пв}}$ и Q – напряжениями U_1 , U_2 и U_3 . Тогда формулу для КПД (η) можно записать в виде

$$\eta = \frac{f_1(U_1 - U_2)}{f_2 U_3}. \quad (2)$$

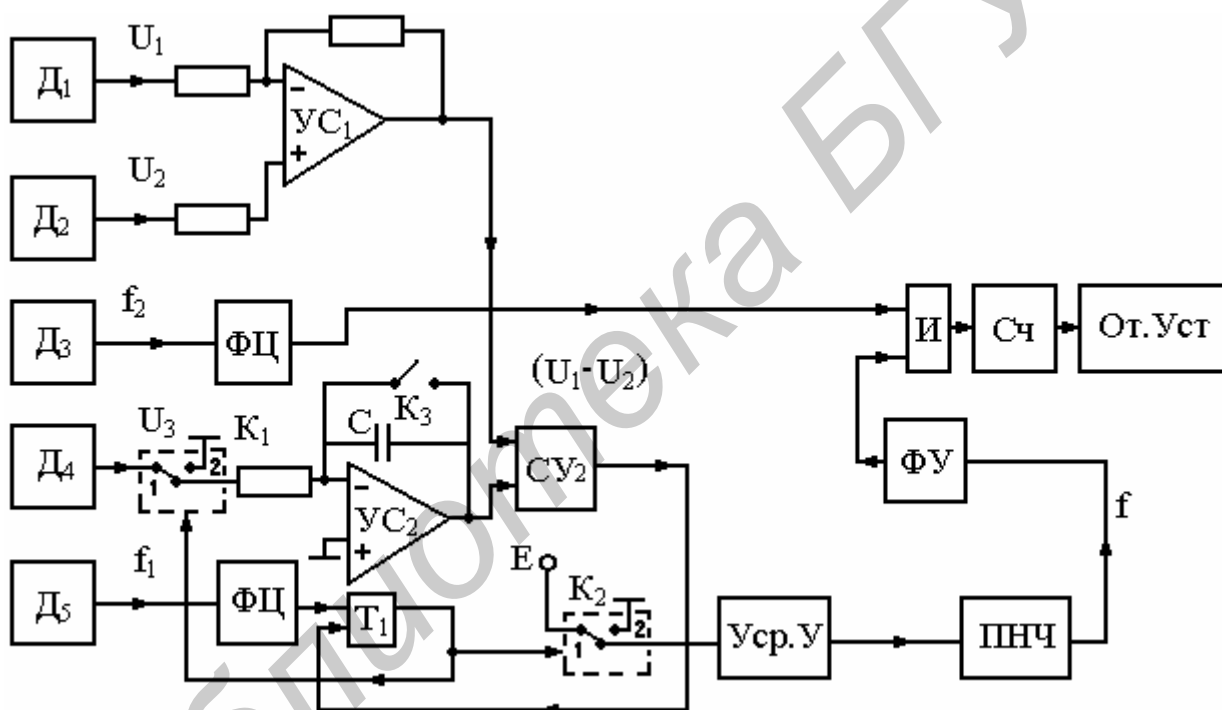


Рисунок 5 – Структурная схема ИИС для косвенных измерений

Принцип работы схемы рисунка 5 при измерении КПД состоит в том, что на триггер T_1 подаются импульсы с частотного датчика D_5 через формирующую цепь (ФЦ). Первый импульс устанавливает триггер T_1 (рисунок 6) в состояние «1». При этом контакты ключей K_1 и K_2 находятся в положении 1, ключ K_3 разомкнут и на один вход сравнивающего устройства (СУ) через интегрирующий усилитель $УС_2$ поступает напряжение U_3 , пропорциональное теплотворной способности Q . На другой вход сравнивающего устройства с выхода операционного усилителя ($УС_1$) непрерывно подается разность двух напряжений ($U_1 - U_2$). В момент равенства напряжений на входе СУ оно срабатывает и выдает импульс, возвращающий триггер в состояние «0». При этом ключи K_1 и K_2 устанавливаются в положение «2», а K_3 замыкается и

конденсатор C интегрирующего усилителя разряжается. Очередной импульс с датчика D_5 , следующий с частотой f_1 , снова устанавливает триггер в положение «1», и цикл повторяется. Таким образом, ширина импульсов Δt , получаемых на выходе ключа K_2 , оказывается пропорциональной отношению напряжений $(U_1 - U_2)/U_3$ или $(i_0 - i_{пв})/Q$, а частота повторения импульсов (f_1) пропорциональна расходу пара D . Поэтому среднее значение напряжения, полученное с помощью усредняющего устройства (Уср.У), пропорционально отношению $f_1(U_1 - U_2)/U_3$ или $D(i_0 - i_{пв})/Q$. Для того чтобы получить окончательный результат, выходное напряжение Уср.У преобразуется в преобразователе напряжение-частота (ПНЧ) в частоту f , которая формирующим устройством (ФУ) преобразуется в последовательность импульсов, задающих время измерения T , пропорциональное $1/f$ или $1/B$. Время T будет задаваться схемой И, на которую одновременно подается сигнал с датчика D_3 с частотой f_2 , преобразованной ФУ в последовательность импульсов.

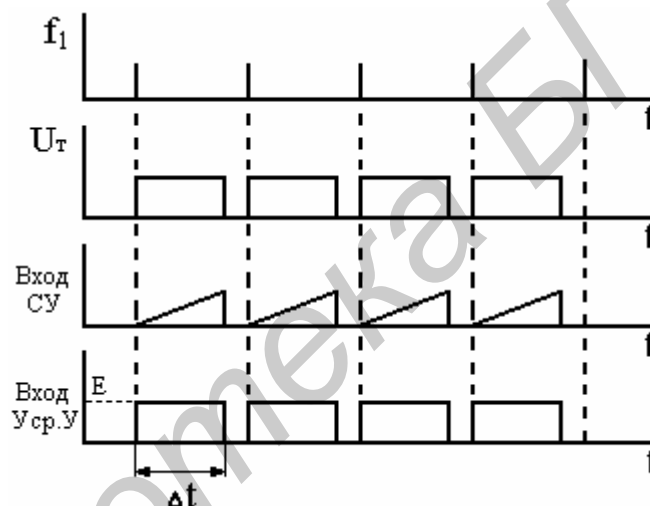


Рисунок 6 – Временные диаграммы ИИС для косвенных измерений

1.2 Системы телеконтроля и телеизмерения

1.2.1 Основные требования, предъявляемые к системам телеконтроля и телеизмерения

Системы телеконтроля и телеизмерения отличаются от ранее рассмотренных систем в основном длиной канала связи. Каналы связи являются наименее надежной частью этих систем, поэтому возрастает значение таких проблем, как надежность и эффективность передачи информации [5, 6].

Впервые передача измерительной информации на значительное расстояние появилась в энергосистемах. В этом случае ИИС обеспечивает дистанционный сбор данных, сигнализацию и индикацию текущего состояния энергосистемы. Наиболее совершенная в настоящее время ИИС контролирует до 3 тыс. точек и передает информацию до 100 000 бит/с, а обработка информации осуществляется ЭВМ.

Телеизмерения широко используются в различных отраслях народного хозяйства: нефтеперерабатывающей, горнодобывающей, машиностроении, нефтехимической переработке и т.д.

В связи с бурным развитием военной техники, в частности, ракетной, космической, все более возрастает роль радиотелеизмерительных систем. Наиболее широко радиотелеизмерительные системы используются при метеорологических и геофизических измерениях, при испытаниях различных устройств (самолетов, мостов и т.д.).

Радиотелеизмерительные системы должны быть многоканальными и обеспечивать заданную точность. По точности системы делятся на три группы: системы средней точности – погрешность 3–5 %; высокой точности – погрешность 1–2 %; очень высокой точности – погрешность 0,1–0,5 %.

Кроме того, системы должны иметь необходимое быстродействие для измерения как медленноменяющихся процессов (температура, давление, напряжение источников питания и т.д.), так и быстроменяющихся (вибрации, колебания давления в гидросистемах, ракетах и т.д.). Система должна быть гибкой, т.е. должно предусматриваться быстрое изменение программы измерений и замены одних датчиков другими.

Обычно в радиотелеизмерительных системах объем и вес передающей части системы ограничены, поэтому мощность передатчиков невелика и не превышает нескольких десятков ватт. В связи с этим приемное устройство должно иметь высокую чувствительность и малый уровень собственных шумов.

1.2.2 Принципы построения проводных систем телеизмерения и телеконтроля

Проводные телеизмерительные системы могут быть как одноканальные, так и многоканальные. Такие системы применяют для измерения параметров сосредоточенных и распределенных объектов.

В зависимости от того, какой параметр несущего сигнала используется для передачи информации, эти системы делятся на:

- системы интенсивности, в которых несущим параметром является величина тока или напряжения;
- частотные (частотно-импульсные системы), в которых измеряемый параметр меняет частоту синусоидальных колебаний или частоту следования импульсов;
- времяимпульсные системы, в которых несущим параметром является длительность импульсов. Разновидностью этих систем являются фазовые системы, в которых измеряемый параметр меняет фазу синусоидального напряжения или сдвиг во времени двух импульсов;
- кодовые (кодоимпульсные системы), в которых измеряемая величина передается какими-либо кодовыми комбинациями.

Первых три вида систем представляют собой аналоговые системы.

Телеизмерительные системы интенсивности используются при передаче информации на незначительные расстояния, и им присущи большие погрешности. Такие системы применяются для измерения активной и реактивной мощности переменного тока и напряжения, частоты, давления, уровня жидкости и т.д.

Времяимпульсные системы широко применяются для измерения медленноменяющихся неэлектрических величин (уровня жидкостей, давления газов и т.д.). Погрешности в таких системах, обусловленные влиянием каналов связи, уменьшаются с увеличением длительности импульса и не превышают 1 %.

1.2.3 Принципы построения радиотелеизмерительных систем

В современных радиотелеизмерительных системах для передачи информации используются почти все виды модуляции для поднесущих и несущих частот. Выбор вида модуляции определяется необходимой пропускной способностью системы и заданным отношением сигнал/помеха [5, 6]. В системах с малой пропускной способностью для измерения медленноменяющихся процессов (10–15 Гц) наиболее часто используются ШИМ для поднесущей и ЧМ для несущей частоты, реже используются системы с АИМ-ЧМ. В системах со средней пропускной способностью, используемых для измерения процессов в диапазоне частот (100–2 000 Гц), при малом числе каналов применяют ЧМ-ЧМ. При большом числе каналов используется тройная модуляция: ШИМ-ЧМ-ЧМ или КИМ-ЧМ-ЧМ. В последнее время широко используются кодоимпульсные системы.

В большинстве радиотелеизмерительных систем независимо от вида модуляции производится калибровка радиолиний в процессе работы. На приемной стороне линии калибровочный сигнал регистрируется вместе с измеряемыми величинами и используется для коррекции полученных результатов.

Пример 4-канальной измерительной системы, примененной на американском спутнике «Эксплорер-3» для измерения температуры оболочки, внутренней температуры, регистрации относительно больших микрометеоритов и подсчета космических частиц, приведен на рисунке 7.

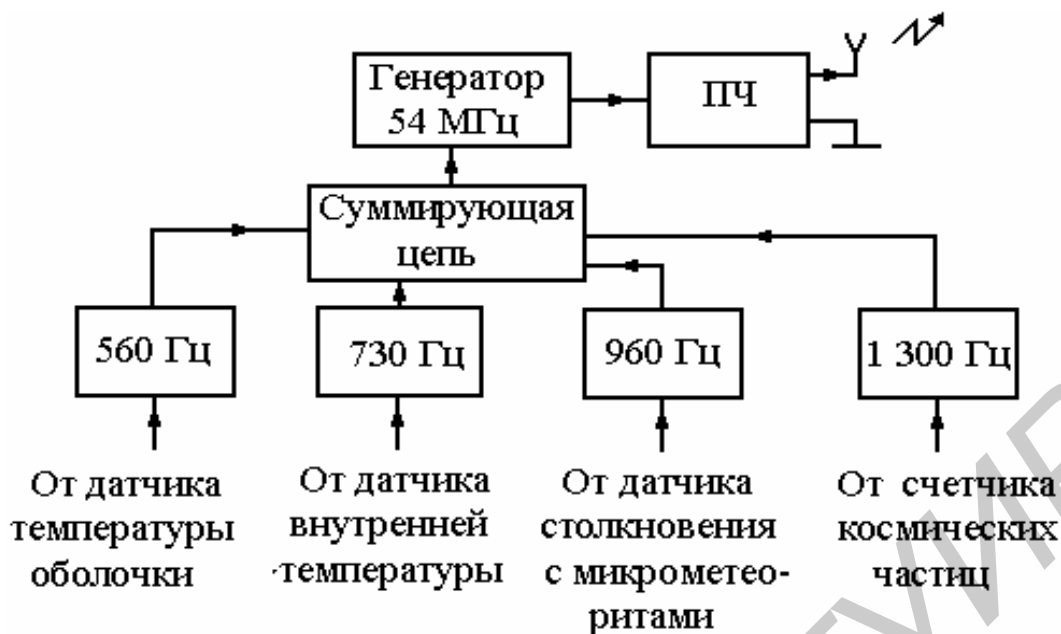


Рисунок 7 – Пример 4-канальной радиотелеметрической измерительной системы

В этой системе передатчик состоит из генератора несущей частоты 54 МГц и усилителя мощности на 10 мВт. Частота передатчика модулируется по фазе четырьмя каналами, в каждом из которых используется частотная модуляция поднесущих. Генераторами поднесущих служат RC-генераторы частот 560, 730, 960 и 1 300 Гц. На приемной стороне используются демодуляция и фильтрация по соответствующим каналам (см. ранее рассмотренные структурные схемы с частотным разделением каналов).

В кодовых радиотелеизмерительных системах структуру систем определяют видом преобразователя аналогового сигнала в код. Преобразователи с параллельным кодом на выходе более распространены, чем с последовательным.

1.3 Системы технической диагностики

1.3.1 Характеристики систем технической диагностики

Современные ИИС, предназначенные для управления технологическими процессами, кораблями, самолетами и т.д., представляют собой сложные комплексы технических устройств, включающие в себя самые различные узлы и элементы. В большинстве случаев неправильное функционирование какого-либо узла или отказ отдельного элемента приводит к выходу из строя (отказу) всей сложной системы.

Вероятность отказов растет с увеличением продолжительности эксплуатации и срока их хранения. Поэтому следует периодически проверять, соответствуют ли характеристики и параметры системы и ее отдельных узлов техническим условиям. В результате проверки должен быть получен ответ о работоспособности системы и возможности использования ее в дальнейшем; если обнаружены какие-либо неисправности, необходимо определить их причину, указать узлы системы, в которых они произошли.

Единственным путем повышения надежности проверки сложных систем с одновременным снижением затрат и времени является автоматизация контроля, т.е. создание автоматизированных проверяющих систем контроля или систем технической диагностики (СТД).

Одной из важнейших характеристик СТД, от которой зависит ее сложность, является полнота проводимой проверки. Выбирая уровень проверки, необходимо исходить из ее конечного результата. Если проверяемая система полностью резервирована, то иногда достаточно произвести проверку общей работоспособности. Если резервирование более мелкое, то проверку можно производить на уровне резервируемых частей системы, т.е. сменных узлов, кассет или элементов.

По степени универсальности системы диагностики можно разделить на специализированные и универсальные. Универсальные системы диагностики пригодны для проверок широкого класса объектов. Специализированные системы настроены на определенный объект проверки. При смене объекта проверки необходимо менять систему и заново обучать обслуживающий персонал – в этом существенный недостаток специализированных систем.

По целевому назначению системы диагностики делятся на собственно диагностические и прогнозирующие.

Собственно диагностические системы предназначены для обнаружения факта неисправности и локализации места неисправности или подтверждения факта неисправности проверяемой системы или объекта.

Более трудной задачей является прогнозирование, заключающееся в том, что по результатам проверки системы в предыдущие моменты времени предсказывается ее поведение в будущем.

По виду входного сигнала системы диагностики делятся на аналоговые и кодовые.

Существуют следующие виды проверки:

- функциональная;
- алгоритмическая;
- логически-комбинационная.

При функциональной проверке проверяют наличие сигнала на выходе системы при подключении сигнала на ее вход. В этом случае отсутствие выходного сигнала является отказом.

При алгоритмической проверке в соответствии с алгоритмом работы системы проверяется последовательность выполнения функций.

Логически-комбинационная проверка, называемая часто **тестовой**, позволяет обнаружить неисправности на любом уровне до элемента. В этом случае на вход проверяемой системы подается специальный проверочный или диагностический тест. Каждый возможный отказ в системе определенным образом изменяет выходную кодовую комбинацию. По виду выходных кодовых групп однозначно определяется место неисправности.

По организации проверки различают следующие ее виды: наладочная, непрерывная, периодическая и профилактическая.

Наладочная проверка осуществляется на заводе–изготовителе при выпуске системы, так как во время наладки и настройки происходят частые отказы, связанные с производственным браком. Остальные три вида являются эксплуатационными.

Непрерывная проверка начинается одновременно с работой проверяемой системы.

Периодическую проверку проводят в то время, когда система не работает. Такая проверка имеет вероятностный характер и не может дать сведений о системе во время ее напряженной работы.

Профилактическая проверка проводится во время плановой профилактики через определенные промежутки времени для выявления отказавших и стареющих элементов.

1.3.2 Принципы построения систем диагностики

Наиболее выгодно строить системы диагностики в виде самостоятельных подсистем или устройств, содержащих узлы, которые могли бы быть заменены, добавлены или удалены в зависимости от требований, предъявляемых к системе.

В самом общем виде структурная схема системы диагностики состоит из следующих устройств (рисунок 8): программирующего устройства; генераторов сигналов; устройств обработки результатов проверки; устройств для самопроверки.

Программирующее устройство определяет, какие сигналы, в какой последовательности и на какие контрольные точки должны быть поданы, устанавливает значения сигналов, точки, с которых должны сниматься выходные сигналы, и предельные значения выходных сигналов по максимуму и минимуму.

Генераторы сигналов вырабатывают все сигналы, необходимые для проверки заданной системы. При испытаниях систем, имеющих не только электронные узлы, должны использоваться генераторы других физических величин. Например, используются генераторы температуры, давления, перемещения, скорости, ускорения и т.д.

Устройство обработки результатов проверки измеряет выходные сигналы, сравнивает полученные результаты с их допустимыми значениями, решает вопрос об исправности системы, регистрирует результаты проверки и выдает их в визуальной форме и иногда в виде инструкций обслуживающему персоналу.

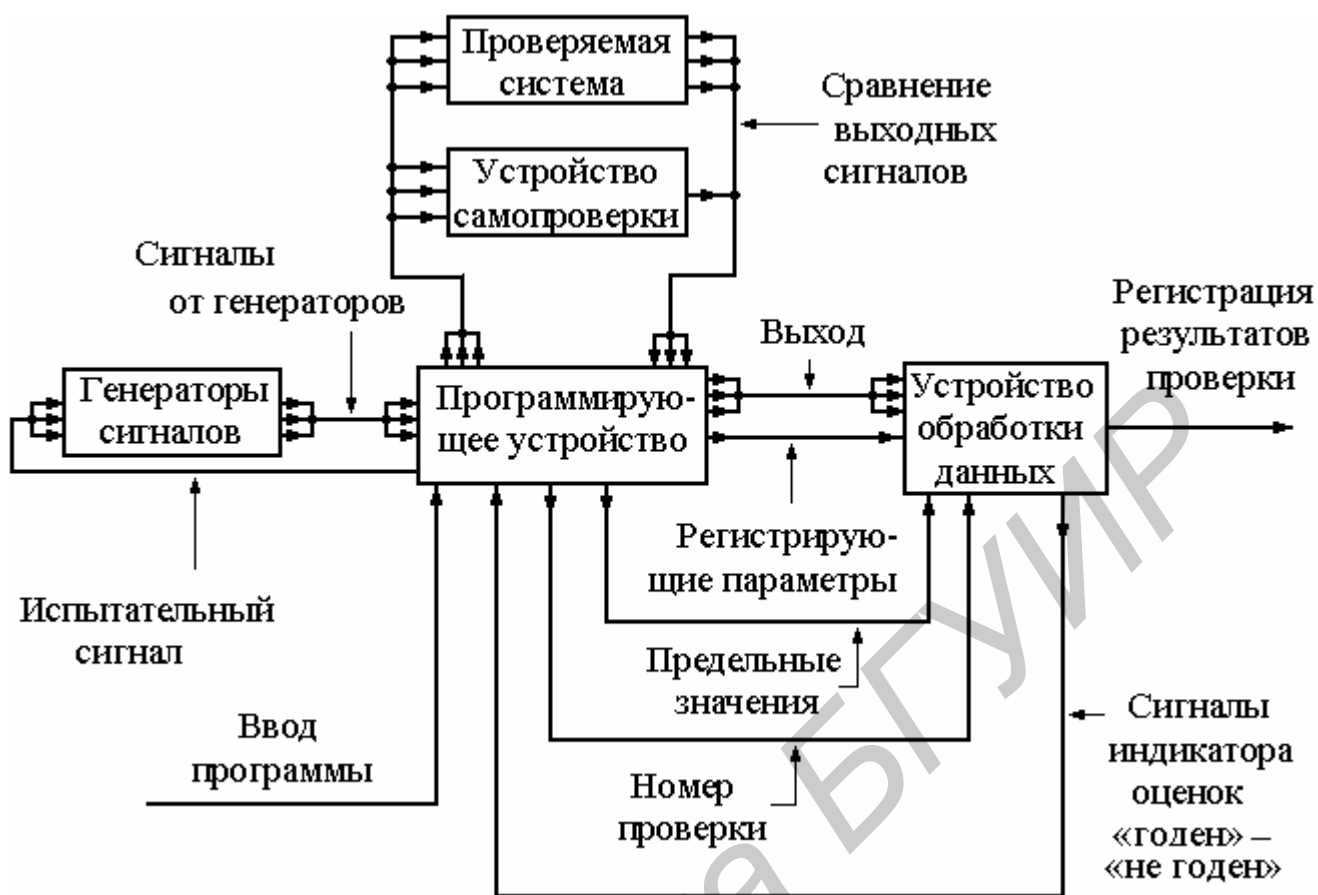


Рисунок 8 – Структурная схема ИИС-диагностики

Устройство для самопроверки по командам, полученным от программирующего устройства, обеспечивает самопроверку системы диагностики перед началом работы, после ее окончания или непрерывно в процессе работы.

1.3.3 Методы диагностики систем

Обнаружение места и причины неисправности в ИИС является самой трудоемкой операцией технического обслуживания последней. В настоящее время для этих целей используется автоматизированная или полностью автоматическая контрольная и диагностическая аппаратура, работающая по определенной программе. Программа работы контрольной и диагностической аппаратуры включает в себя как общую последовательность операций, обнаруживающих факт неисправности, так и специальную последовательность проверочных процедур при каждом возможном отказе или ненормальной работе системы. Методы составления подобных программ основываются на использовании теории информации, математической логики, динамического программирования и т.д. [9, 10].

Рассмотрим модель системы как объекта контроля (рисунок 9). Система состоит из ряда функциональных частей (подсистем, блоков, приборов,

элементов), каждая из которых отвечает некоторой конкретной реакцией на определенную совокупность воздействий [11]. Для краткости будем называть отдельные части системы блоками. Например, блок *b*, на который воздействуют сигналы *A* и *C*, отвечает реакцией *B*. На систему в целом воздействуют сигналы S_1 и S_2 , на которые она отвечает реакцией *E* и *D*. Очевидно, что для отыскания неисправности необходимо применение определенных воздействий к блокам системы и оценки соответствующих реакций. Поиск неисправных блоков может осуществляться комбинационным или последовательным методом. При комбинационном методе анализ результатов проверок начинается после того, как проверены все блоки. Окончательный вывод делается после рассмотрения всех комбинаций результатов проверок. Этот метод поиска неисправных блоков целесообразен в случае, если можно предположить неисправность значительной их части.

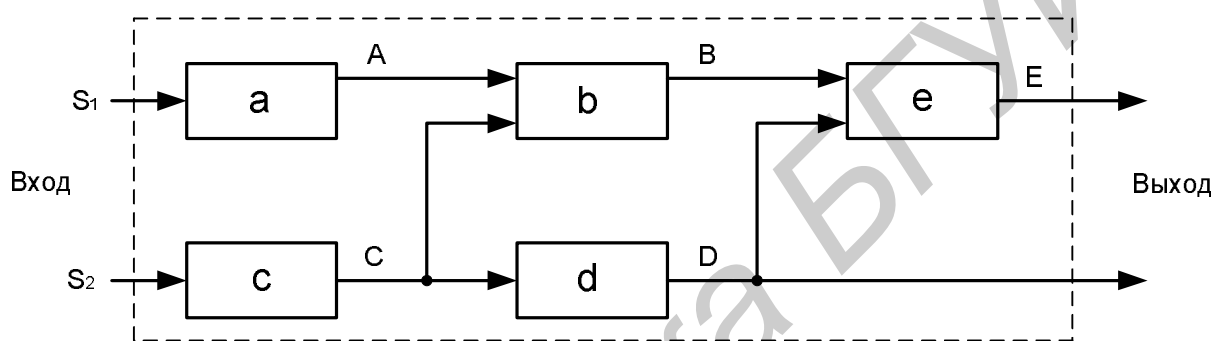


Рисунок 9 – Обобщенная модель системы

При последовательном методе результаты проверок анализируются поочередно и в зависимости от результата предыдущей проверки назначается последующая. Это сокращает общее число проверок и, следовательно, время обнаружения неисправности. Последовательный метод особенно эффективен в случае отказа одного блока или небольшой части блоков системы. Такой случай характерен для сложных ИИС, поэтому он получил наибольшее применение.

При последовательном методе с каждой последующей проверкой уменьшается неопределенность, связанная с отысканием отказавшего блока, т.е. накапливается соответствующая информация. Процесс уменьшения неопределенности при поиске отказавшего блока системы (рисунок 9) можно изобразить в виде схем (графов) информационных состояний (рисунок 10), позволяющих наглядно оценить результаты контроля и определить исправные, неисправные и не подвергавшиеся проверке блоки.

В процессе отыскания неисправности блоки схемы рисунка 9 могут находиться в трех состояниях: исправном (состояние 1), неисправном (состояние 0) и непроверенном (состояние 0). Состояние 1 может соответствовать также тому, что производится проверка. В начале поиска неисправности все блоки находятся в непроверенном состоянии. На схеме рисунка 10 кружками обозначаются все проводимые проверки, а прямоугольниками – состояния, которые они вызывают. Каждому блоку соответствует разряд (цифра) в

обозначении проверки. Единица на i -м месте указывает на то, что i -й блок не проверен. Проверенному i -му блоку соответствует нуль в i -м разряде обозначения проверки. Обозначение проверки записывается на схеме под горизонтальной чертой (например П11001). В системе, изображенной на рисунке 10, начальное состояние обозначено как 11111. При первой проверке П11001 определяется состояние блоков с и d. Положительному результату проверки, когда блоки с и d исправны, соответствует состояние 11001, а отрицательному результату, когда блоки с и d неисправны, – состояние 00110. После состояния 00110 с помощью проверки П11011 (или П11101) устанавливается, какой блок отказал: с или d. Отказавшие блоки (последние состояния) обозначены прямоугольниками.

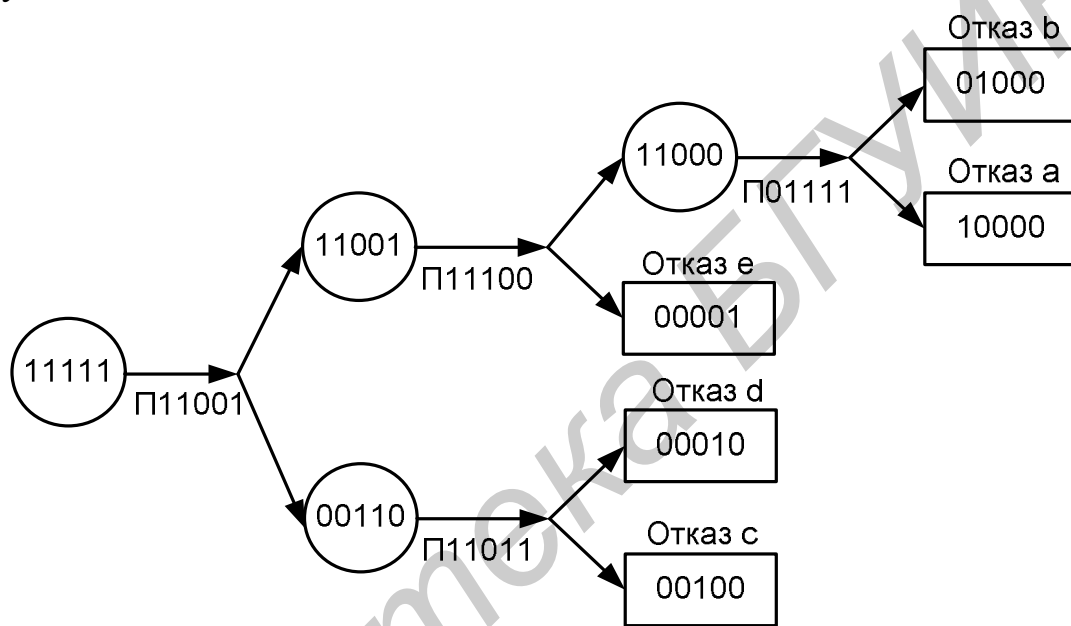


Рисунок 10 – Обобщенная схема проверки системы

Известны различные методы оптимизации процессов поиска неисправностей, из которых наиболее эффективными являются:

– **метод половинного разбиения**. При этом методе все блоки системы при контроле делятся на две приблизительно равные группы. В результате проверки каждой из них устанавливается их исправность (неисправность). Далее для неисправной группы блоков производится последующее разбиение на две группы и т. д.;

– **метод синдромов** используется в системах автоматического контроля с использованием ЭВМ. Термин «синдром» заимствован из медицины и означает сочетание признаков (симптомов), характерных для какого-либо заболевания. Этот метод заключается в том, что в процессе анализа результатов контроля каждый результат «не годен» сопоставляется с синдромом определенного блока системы. Библиотека синдромов предварительно составляется, программируется и вводится в постоянную память ЭВМ системы контроля.

Кроме указанных методов, используются также статистический метод итераций, метод изменения уровня инфракрасного излучения блоков системы и т.д.

2 ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИИС

2.1 Постановка задачи и этапы проектирования

Проектирование можно определить как «последовательность принятия технических решений». Под техническим решением предполагается конкретный вариант построения системы, выражаемый совокупностью элементарных технических решений составляющих ее подсистем, обычно таких вариантов бывает множество и из этого множества необходимо выбрать оптимальный.

Проектированию системы предшествует этап организационной работы, на котором определяется целесообразность построения системы, выделяются специалисты, денежные средства, производственные площади и оборудование, разрабатываются календарные графики выполнения работ и т.д.

В соответствии с ГОСТ 2.103–68 выделяются следующие основные стадии подготовки проекта:

1) разработка ТЗ (технического задания), которое должно содержать:

- назначение и круг решаемых задач;
- требования, которым система должна удовлетворять, – точность, быстродействие, надежность и т.д.;
- условия, в которых система будет функционировать, – давление, влажность, температура, источники питания и т.д.;

2) разработка технического предложения (ГОСТ 2.118–73) на проектируемую ИИС, при которой предусматривается выполнение следующих этапов:

- подбор патентных материалов, анализ материалов по существующим системам;
- предложение возможных вариантов реализации системы под заданные параметры ТЗ;
- разработка и анализ структурной схемы и алгоритма работы системы;
- выбор функциональных блоков проектируемой системы;
- решение вопросов метрологического, программного и методического обеспечения проектируемой ИИС;
- рассмотрение и утверждение технического предложения, в результате которого должен быть обоснован целесообразный путь реализации ТЗ;

3) опытно-конструкторские работы (ОКР), которые подразумевают:

- стадию эскизного проектирования (ГОСТ 2.119–73), предусматривающего создание техдокументации;
- стадию технического проектирования (ГОСТ 2.120–73), в процессе которого вырабатывается окончательное техническое решение на систему;

4) создание рабочей документации на проектируемую систему.

Проектирование конкретного изделия может содержать не все перечисленные стадии системотехнического проектирования. Определение состава стадий выполнения данного проекта делается при разработке ТЗ.

Процесс проектирования ИИС обычно содержит ряд этапов [11, 57]:

- предварительное проектирование;
- эскизное проектирование;
- техническое проектирование.

На этапе **предварительного проектирования** решаются следующие задачи:

- изыскание и разработка принципов построения системы, отвечающих заданным или предполагаемым требованиям;
- разработка и оптимизация структуры системы по основным критериям или их совокупности;
- изыскание и разработка принципов построения технических средств, обеспечивающих создание системы с лучшими характеристиками;
- изыскание (разработка) методов оптимизации характеристик систем и их составляющих;
- изыскание (разработка) методов проектирования систем, обеспечивающих достижения заданных характеристик с наименьшей затратой времени и сил.

Предварительное проектирование ИИС начинается с выбора структурной схемы и технических средств ее реализации, определения основных статических и динамических характеристик системы и составляющих ее звеньев. На этом этапе осуществляется предварительная «завязка» системы с учетом удовлетворения основных требований технического задания: по точности, надежности, габаритно-массовым показателям, энергопотреблению и т.д.

Для предварительной оценки основных характеристик и оптимизации системы по этим характеристикам обычно широко применяются методы математического моделирования на ЭВМ [12] с использованием специализированных пакетов программ (GeniDAQ, Genesis32, CCF, MicroCAP и др.) [13–16]. Очень ответственным моментом предварительного проектирования является выбор технических средств проектируемой ИИС и элементной базы – той основы, на которой строится система.

Выбор системы элементов наряду со структурными методами в значительной степени предопределяет надежность характеристики проектируемой системы, что составляет одну из задач предварительного проектирования.

На этапе предварительного проектирования оценивается рациональное распределение функций системы между ее технической частью и оператором, анализируются в первом приближении методы обслуживания ИИС в процессе эксплуатации, исследуются математические и физические модели. Итоги предварительного проектирования находят отражение либо в технических предложениях по системе, либо в аванпроекте. В ряде случаев вместо этих документов выпускается отчет (ГОСТ 2.118–73).

На этапе **эскизного проектирования** производится дальнейшее уточнение и конкретизация структурной схемы ИИС. Уточняется состав подсистем и выполняемые ими функции, определяются их основные характеристики, подсистемы и системы в целом разбиваются на составляющие их функциональные части – приборы и блоки. Все это позволяет определить детальный приборный состав системы. При определении приборного состава системы важно не упустить ничего, чтобы исключить необходимость разработки дополнительной аппаратуры на более поздних этапах проектирования (например, аппаратуры, необходимой для обслуживания системы при ее эксплуатации).

Наряду с этим производятся детальный анализ характеристик технических средств и их оптимизация, устраняется и по возможности сокращается номенклатура элементов, используемых в системе. С целью получения более достоверной информации об ИИС и ее составляющих на этом этапе широко развертываются работы по математическому и по возможности физическому моделированию, при этом используются модели как отдельных составляющих, так и системы в целом.

Существенным является то, что на рассматриваемом этапе проектирования разрабатывается и выпускается эскизная техническая документация, включающая в себя схемную, программную, конструкторскую, монтажную, технологическую и текстовую документацию.

Эта документация имеет временный характер и предназначена для изготовления экспериментальных и лабораторных образцов, которые обычно изготавливаются в условиях экспериментального производства с привлечением высококвалифицированных специалистов. Лабораторные образцы позволяют на этапе эскизного проектирования провести экспериментальные исследования как всей системы, так и отдельных ее блоков и узлов.

Обычно для испытания системы в целом создаются специальные комплексные стенды, на которых собираются все составные части системы, источники питания и вспомогательная аппаратура контроля параметров системы в процессе испытаний, а также обработки информации. Одновременно с отработкой системы и ее составляющих осуществляется отработка (изменение) технической документации по результатам:

- изготовления экспериментальных образцов, при этом устраняются ошибки и неувязки в схемной, программной, конструкторской, монтажной, технологической и текстовой документации;
- по результатам экспериментальных испытаний системы и ее узлов вносятся изменения практически во все виды документации;
- по результатам приемосдаточных испытаний обычно уточняется текстовая документация – величины выходных параметров, нормы на них.

На этапе эскизного проектирования определяются габаритные и массовые параметры системы, исследуются тепловые режимы ее работы. Этот этап завершается выпуском и защитой эскизного проекта, выполняемого в соответствии с ГОСТ 2.119–73.

Техническое проектирование. Исходными для него являются эскизный проект, техническое задание на разработку ИИС и заключение заказчика, согласного на разработку для него системы.

На основании их разрабатывается полный комплект технической документации, включая и эксплуатационную (ГОСТ 2.102–68), содержащую:

1 Электрические (Э) схемы; структурные (Э1); функциональные (Э2); принципиальные (Э3); соединений (монтажные) (Э4); подключения (Э5); общие (Э6), расположения (Э7).

2 Графические документы: чертежи общего вида (Во); габаритные чертежи (Гч); сборочные чертежи (Сб); спецификации; чертежи отдельных узлов и деталей и т.д.

3 Программные документы (ГОСТ ЕСПД): спецификация, текст-программы, описание программ, формуляр, описание применения, руководство оператора, руководство системного программиста и т.д.

4 Текстовые документы: общие технические условия (ОТУ); частные технические условия на блоки и узлы (ЧТУ); различные инструкции (по регулировке, эксплуатации и т.д.), техническое описание системы (ТО).

На данном этапе проводятся детальные испытания системы и ее составляющих по оценке надежности. На этом этапе проектирования начинаются натурные испытания опытных образцов системы, и завершаются они испытанием серийных образцов.

2.2 Испытания ИИС в процессе проектирования и производства

Испытания, т. е. эмпирический метод оценки параметров ИИС и ее составных частей, являются неотъемлемой частью процесса проектирования. Итеративный характер процесса проектирования делает необходимым проведение испытаний на всех этапах проектирования. Одна из возможных классификаций методов испытаний ИИС приведена на рисунке 11.

Приемосдаточные испытания заключаются в определении соответствия аппаратуры техническим условиям, они проводятся при выпуске системы и ее составляющих.

Лабораторные испытания на этапах предварительного, эскизного и технического проектирования заключаются в оценке правильности функционирования, точностных характеристик, в том числе по точности, стабильности и надежности работы, а также сроку службы. Эти испытания проводятся в более жестких условиях, чем те, которые оговорены техническими условиями.

Совместные испытания проводятся проектировщиками и заказчиками, как правило, в том же объеме, что и лабораторные испытания.

Условия проведения приемосдаточных, лабораторных и совместных испытаний отличаются от реальных эксплуатационных условий, так как не всегда удается смоделировать внешние воздействия одновременно.

Поэтому важны **натурные** испытания, когда система находится в реальных условиях эксплуатации.

Эксплуатационные испытания проводятся в процессе эксплуатации и могут быть периодическими, профилактическими или регламентными. Целью их является оценка состояния системы и проведение восстановительных работ в случае обнаружения отказов в аппаратуре.

Цель испытаний – получение информации о состоянии ИИС и составляющих ее частей. Информация, получаемая в процессе контроля, позволяет решать следующие задачи:

- 1) установление работоспособности системы и составляющих ее частей;
- 2) установление соответствия системы заданным параметрам;
- 3) оценка точностных характеристик системы;
- 4) диагностика системы (определение места и характера неисправности);
- 5) комплексная оценка запасов по характеристикам системы (качеству);
- 6) прогнозирование исправной работы системы на определенный период времени.

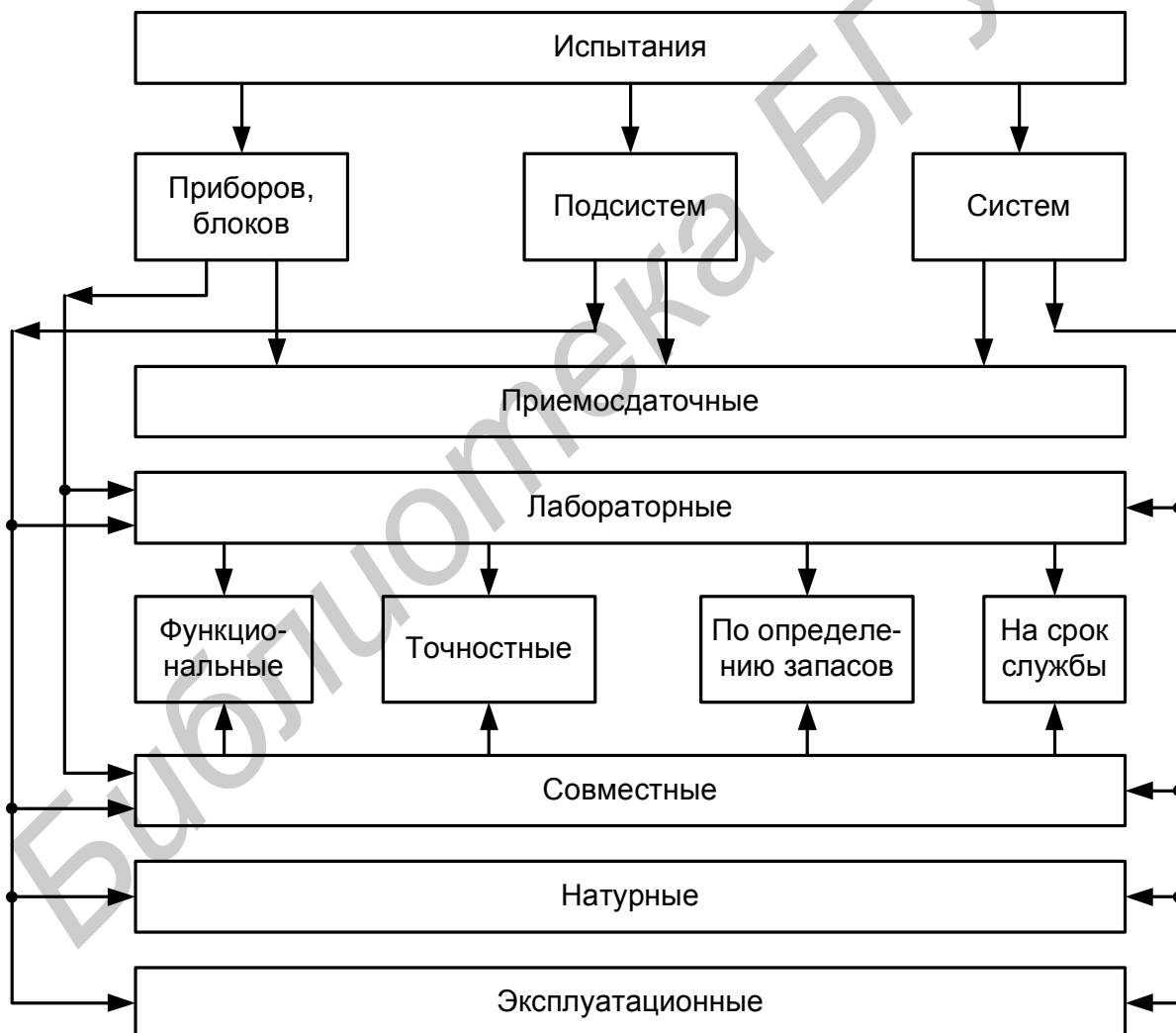


Рисунок 11 – Классификация методов испытаний ИИС

Контроль работоспособности системы сводится к определению правильности ее работы без оценки точности.

Контроль функционирования производится для обнаружения отказов в системе и не позволяет, как правило, определить изменение характеристик или уход параметров от номинального значения, он осуществляется по принципу «годен – не годен».

Точностные характеристики систем контролируют обычно в условиях, близких к реальным эксплуатационным, или с учетом возможных отклонений от них. Основным требованием при этом является точность контроля (измерений), влияющая на качество получаемой при контроле информации, т. е. ее достоверность.

Для **диагностических неисправностей** системы при проявлении отказа или нормальной работе часто необходимо произвести ряд дополнительных измерений для определения местонахождения неисправности и ее характера. Объем проверок для диагностики устанавливается в зависимости от функциональной схемы контролируемой системы, требований к точности определения неисправности.

Для определения **запасов по характеристикам** системы находится характеристика качества системы ρ как

$$\rho = \sqrt{\sum_{i=1}^n (a_i - a_{i_{\text{НОМ}}})^2}, \quad (3)$$

где n – количество независимых параметров;

$a_{i_{\text{НОМ}}}$ – номинальное значение i -го параметра;

a_i – измеренное значение i -го параметра.

Для более точной оценки вводится система ограничений допустимых (разрешенных) значений ряда параметров и множителей, характеризующих влияние каждого параметра.

При сравнении однопараметрических систем строится гистограмма или полигон распределения параметров, при этом качество системы определяется отклонением от номинального значения.

Под **прогнозированием отказов** системы понимается комплекс операций, позволяющих после проведения ряда последовательных во времени испытаний провести анализ тенденции ухода абсолютных значений параметров за пределы допусков и на основании такого анализа предсказать вероятный момент отказа.

В процессе серийного производства накапливается статистический материал по всем характеристикам систем, позволяющий уточнить и скорректировать техническую, технологическую, программную и технологическую документацию, кроме этого, уточнить параметры и допуски на них как системы в целом, так и отдельных ее составляющих, что также находит отражение в корректировке технической документации.

Представление о размере вносимых изменений дает, например, тот факт, что самолет «С-141 Старлифтер», выпускаемый в течение четырех лет, требовал внесения примерно 250 конструкторских изменений в неделю.

Серийные экземпляры системы проходят комплекс испытаний: приемосдаточные, выборочные (типовые), установочные (проводятся на первых партиях систем серийного изготовления) и по оценке надежности.

На серийных экземплярах системы проводится заключительный этап натуральных испытаний. Полученная при этом информация о характеристиках системы позволяет вынести окончательное суждение о соответствии их требованиям технических условий и как следствие – техническому заданию на проектирование.

2.3 Оценка качества ИИС

При проектировании системы объективно выбрать из всех анализируемых структур оптимальную можно только по какому-либо показателю качества, имеющему числовое значение, при этом необходимо учитывать многие параметры: точность, быстродействие, стоимость и т.д. Поэтому применяется обобщенный показатель качества (ОПК), определение которого является достаточно сложным и трудоемким.

Определение ОПК можно осуществлять несколькими способами [5]:

1 Нахождение эффективности системы путем сравнения с какой-либо другой, подобной или близкой к разрабатываемой. В этом случае критерий эффективности системы ($K_{эф}$) определяется как

$$K_{эф} = \frac{I_p(t, \tau) C_{и}(t, \tau)}{C_p(t, \tau) I_{и}(t, \tau)}, \quad (4)$$

где $I_p(t, \tau)$ – количество информации, получаемое реальной n-канальной системой;

$I_{и}(t, \tau)$ – количество информации, получаемое идеальной n-канальной системой;

$C_p(t, \tau)$ – математическое ожидание стоимости реального процесса контроля;

$C_{и}(t, \tau)$ – математическое ожидание стоимости идеального процесса контроля.

2 Указанный выше критерий не может быть использован при разработке новых систем, которые не с чем сравнивать. В этом случае применяется метод экспертных оценок.

3 Третий подход при выработке ОПК заключается в том, что находят взаимосвязь между стоимостью и набором ее технических характеристик.

Очень важной задачей при проектировании ИИС является определение полной погрешности по характеристикам погрешности применяемых функциональных преобразований или выполняющих их блоков.

В этой задаче можно выделить два предельных случая:

– определение полной погрешности одноканальной (последовательной) ИИС;

– оценку погрешности многоканальной (параллельной) структуры ИИС.

Если задана полная погрешность на систему, то возникает обратная задача, связанная с распределением частных погрешностей по звеньям так, чтобы результирующая погрешность не превосходила определенного заданного значения.

Решение таких задач неоднозначно, и для каждой конкретной системы разрабатывается алгоритм определения таких погрешностей.

2.4 Надежность ИИС и критерии ее оценки

Надежность является одной из основных характеристик ИИС. Надежностью называется свойство системы, обеспечивающее безотказное выполнение заданных функций в заданных условиях эксплуатации в течение заданного промежутка времени. ненадежность системы проявляется в отказах. Под отказом понимается событие, заключающееся в нарушении работоспособности системы [11].

Отказы системы могут быть как постепенными, так и внезапными. Постепенные отказы возникают в результате процессов износа и старения отдельных элементов и узлов, приводящих к равномерному изменению параметров систем. При достижении некоторого критического значения того или иного параметра системы происходит отказ.

Внезапные отказы проявляются в виде резкого изменения параметров, обрыва и короткого замыкания. В возникновении внезапных отказов также играют роль процессы старения и износа, но они протекают скрыто и проявляются внезапно.

Появление отказов может произойти под влиянием большого числа факторов, которые могут быть разделены на две группы: субъективные и объективные.

К субъективным относятся факторы, зависящие от действия обслуживающего персонала (нарушение правил эксплуатации, неправильная оценка наблюдаемых при работе системы явлений и т.д.).

К объективным относятся факторы, определяемые внутренними характеристиками аппаратуры (внутренние факторы) и внешними воздействиями (внешние факторы).

Внутренние факторы включают:

- конструктивные факторы, связанные с неблагоприятным выбором структур, принципиальных схем, комплектующих элементов и режимов их работы

и т.д. в процессе разработки системы;

- производственно-технологические факторы, связанные с качеством исходных материалов, инструментом, технологическими процессами и т.д.

Внешние факторы включают всю совокупность условий эксплуатации, воздействующих на систему (климатические, механические, радиационные и т.д.)

Сложный характер механизма возникновения отказов затрудняет оценку надежности ИИС. Обычно для оценки надежности используются следующие методы:

- испытания;
- моделирование рабочих процессов и процессов возникновения отказов;
- обработка информации о результатах эксплуатации систем;
- анализ физических процессов, сопутствующих и обуславливающих возникновение отказов;
- расчет.

Указанные выше методы испытания, моделирования и расчета находятся во взаимосвязи. Так, при моделировании и расчете используется информация о надежности элементов сложной системы, получаемая в результате испытаний, а при обработке результатов моделирования необходимы уравнения, используемые для расчета надежности. Испытания, в свою очередь, сопровождаются расчетами. При моделировании для анализа и оценки надежности систем используются как математические, так и физические модели с применением ЭВМ.

В силу недостаточности информации о причинах и обстоятельствах отказов общепринятое расчетное определение надежности базируется на вероятностном подходе, исходя из представления об отказах как о случайных событиях с устойчивой частотой отказов.

Основным вероятностным критерием надежности является вероятность безотказной (исправной) работы системы $P(t)$. Под последней понимается вероятность того, что система будет сохранять параметры в заданных пределах в течение определенного времени и при определенных условиях эксплуатации.

Для системы, состоящей из n элементов (узлов),

$$P(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t), \quad (5)$$

где $P_i(t)$ – вероятность безотказной работы i -го элемента (узла).

Так как $0 < P_i(t) < 1$, то $P(t) \leq P_i(t)$. Таким образом, чем сложнее система, тем при прочих равных условиях ниже ее надежность. Отсюда следует, что для обеспечения наибольшей безотказной работы необходимо стремиться к более простым структурам.

Ненадежность системы $Q(t)$ определяется как вероятность появления отказов в процессе работы системы при заданных режимах и условиях в течение заданного времени. Следовательно,

$$Q(t) = 1 - P(t). \quad (6)$$

Очень важной вероятностной характеристикой надежности является интенсивность отказов λ , которая связана с $P(t)$ соотношением

$$\lambda = -\frac{1}{P(t)} \frac{dP(t)}{dt}. \quad (7)$$

Из последнего соотношения следует, что

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}, \quad (8)$$

где t – интервал времени, за который определяется вероятность безотказной работы системы при некотором заданном законе изменения интенсивности отказов $\lambda(t)$.

Если $\lambda(t)$ является величиной постоянной в интервале времени от 0 до t , то

$$P(t) = e^{-\lambda t}. \quad (9)$$

Статистическая оценка интенсивности отказов $\lambda(t)_{ст}$ определяется по формуле

$$\lambda(t)_{ст} = \frac{n_{отк}}{N_{ср} \Delta t}, \quad (10)$$

где $n_{отк}$ – число изделий, отказавших за время Δt ;

$N_{ср}$ – среднее число изделий, исправно работающих в данном промежутке времени.

Среднее время безотказной работы $t_{ср}$ определяется из соотношения

$$t_{ср} = \frac{1}{\lambda}. \quad (11)$$

Тогда (9) с учетом (11) будет равно

$$P(t) = e^{-\frac{t}{t_{ср}}}. \quad (12)$$

При $t = t_{ср}$ $P(t) = 0,37$. Величины λ приводятся в соответствующих руководствах и справочниках [17, 18].

2.5 Методы обеспечения надежности ИИС

Основу методов повышения надежности систем составляет **резервирование**, т.е. повышение надежности путем рационального введения дополнительных (избыточных) элементов. Следовательно, резервирование основано на принципе избыточности.

Общим для всех методов резервирования является то, что основная функционально необходимая структурная цепь системы (обозначена индексом 0) дополняется тем или иным способом избыточными цепями или отдельными составляющими системы (рисунок 12).

Общее резервирование характерно тем, что функционально необходимая цепь резервируется точно такими же избыточными цепями (рисунок 12, а, б). В том случае, когда избыточные структурные цепи подключаются постоянно, структура резервированной таким образом системы остается неизменной. Такое резервирование называется пассивным или постоянным (рисунок 12, а).

При активном резервировании появление отказа приводит к перестраиванию системы, она восстанавливает свою работоспособность путем замещения отказавшей части системы исправной резервной частью, происходит саморемонт системы. Активное резервирование обычно предполагает использование в структуре системы устройства анализа состояния (АС), которое отключает поврежденный участок и с помощью переключающего устройства (ПУ) подключает резервный (рисунок 12, б). При поэлементном или раздельном резервировании осуществляется резервирование не всей системы, а отдельных ее частей, приборов, блоков, до элементов включительно (рисунок 12, в, г).

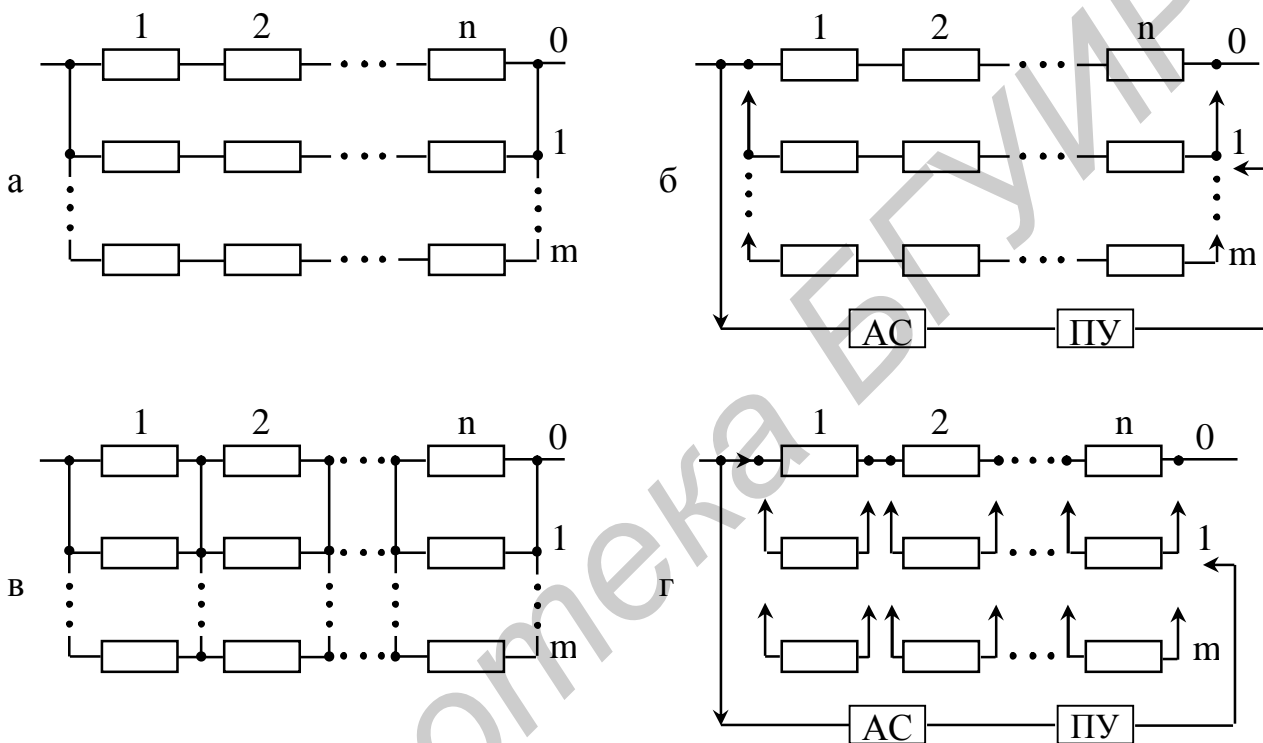


Рисунок 12 – Способы построения избыточных цепей

Основным параметром резервирования является его кратность (k_p), т.е. отношение числа резервных систем или элементов к числу резервируемых (функционально необходимых), что определяется соотношением

$$k_p = \frac{N_{\text{общ}} - N_{\text{фн}}}{N_{\text{фн}}}, \quad (13)$$

где $N_{\text{фн}}$ – количество систем (блоков, приборов, элементов), необходимых для нормального функционирования;

$N_{\text{общ}}$ – количество блоков, приборов, элементов после введения избыточности.

3 НОРМИРУЕМЫЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

3.1 Общие положения

Под метрологическим обеспечением ИИС понимается комплекс мер, направленных на достижение и поддержание в этих системах требуемой точности измерения [2, 3, 19–23]. Метрологическое обеспечение ИИС на стадиях их разработки, производства и эксплуатации решает различные задачи.

На стадии проектирования должны быть выполнены: метрологическая экспертиза проектов технических заданий и документации на ИИС, разработка технических средств и методик метрологической аттестации и поверки ИИС, государственные или ведомственные приемочные испытания или метрологическая аттестация, метрологический надзор за разработкой ИИС.

Метрологическое обеспечение ИИС на стадии производства включает, главным образом, контрольные испытания и метрологический надзор за технической документацией и технологией изготовления ИИС.

В период эксплуатации должны быть обеспечены метрологическая аттестация ИИС, аттестация после ремонта, периодические поверки, надзор и контроль за применением ИИС [21].

ГОСТ Р 8.596–2002 устанавливает основные положения по метрологическому обеспечению (МО) измерительных систем (ИС) на этапах их жизненного цикла: разработки (проектирования), производства (изготовления, монтажа и наладки), эксплуатации.

3.2 Нормируемые метрологические характеристики ИИС

Комплекс нормируемых метрологических характеристик ИС должен позволять с определенной достоверностью оценивать погрешности результатов измерений, получаемых с помощью ИС, относительно просто выполнять операции поверки и обеспечивать оценку метрологических свойств как большого количества, так и конкретных экземпляров ИС данного типа.

В любой ИС можно выделить измерительный канал, т.е. совокупность преобразователей информации, начиная от входа и кончая выходом системы, и измерительные компоненты, выполняющие часть преобразований канала системы. К измерительным компонентам ИС можно отнести, например, датчики, измерительные цепи, аналоговые и цифровые устройства, линии связи и т.д. Метрологические характеристики (МХ) измерительных компонентов ИС определяются так же, как и для средств измерения вообще. Нормированию в ИС подлежат МХ измерительных каналов. Нормирование МХ измерительных каналов предпочтительнее регламентировать для таких выпускаемых заводом-изготовителем ИС, которые характеризуются постоянным составом несущественно разнесенных в пространстве компонентов, легкодоступных для выполнения контроля.

Определение МХ измерительных каналов систем расчетным или экспериментальным путем лучше осуществлять для ИС, комплектуемых при

монтаже на месте эксплуатации, для ИС со значительной пространственной разнесенностью компонентов, с большим числом сменных компонентов, с затруднительным доступом к ИС в целях ее контроля.

Оценку МХ измерительных каналов систем расчетным путем целесообразно устанавливать для ИС, отличающихся переменной структурой и связями между компонентами, а также большим количеством параллельных каналов. При этом контролируются МХ измерительных компонентов, а МХ каналов определяется расчетным путем.

Экспериментальные методы определения МХ измерительных каналов целесообразно применять для ИС, в которых влияние взаимодействия компонентов на МХ трудно оценить заранее.

Конкретный состав МХ уточняется для каждой ИС на стадии разработки технического задания. При оценке нормируемых МХ необходимо учитывать, что погрешности оценки МХ являются величинами второго порядка малости по сравнению с результатами измерений. Это обстоятельство позволяет применять приближенные методы оценки МХ ИС.

К нормируемым МХ измерительных каналов ИС относятся:

- $\Delta_{с д}$ – предел допустимого значения систематической составляющей погрешности измерительного канала ИС;
- $\sigma_{д}(\Delta)$ – предел допустимого значения среднего квадратического отклонения случайной составляющей погрешности измерительного канала ИС;
- $v_{д}$ – предел допустимого значения вариации выходного сигнала или показаний измерительного канала ИС;
- характеристики, отражающие взаимодействие измерительного канала ИС с объектом измерений;
- выходной импеданс измерительного канала ИС;
- динамические характеристики измерительного канала ИС;
- динамические функции влияния измерительного канала ИС;
- характеристики линии связи.

Комплекс МХ для конкретных измерительных каналов ИС, определяемых экспериментально либо расчетным путем, содержит вышеперечисленные метрологические характеристики, кроме этого, могут добавляться:

- градуировочная характеристика измерительного канала ИС;
- таблица поправок для измерительного канала ИС, заканчивающегося показывающим или регистрирующим измерительным прибором.

3.3 Технические средства метрологических поверок ИИС

Имеются два основных пути реализации поверок (см. [5, 7, 21, 23]), проводимых в целях установления соответствия характеристик поверяемой системы метрологическим нормам (рисунок 13). Первый путь – «а» на рисунке 13, связан с использованием для проверки калибраторов, формирующих образцовые сигналы, подаваемые на вход контролируемой ИИС. Второй путь – «б» – предусматривает применение образцовых приборов или

преобразователей для измерения сигналов, подаваемых на вход контролируемой ИИС, и сравнения результатов измерения, полученных образцовыми средствами измерения и поверяемой ИС. При этом калибраторы и образцовые измерительные приборы могут не входить в структуру ИИС [19] либо быть встроенными в последнюю [23].

Методы поверки регламентируются в [22], где даются рекомендации по выбору метода экспериментального определения и контроля характеристик погрешности измерительных каналов ИС и последовательность выбора этих методов в зависимости от факторов, определяющих постановку и проведение эксперимента.

Устанавливаемые рекомендациями методы определения и контроля предназначены для использования при проведении метрологических работ: исследований состава и свойств погрешности ИК ИС на стадии их разработки, государственных испытаний, поверки или калибровки ИС. Описания выбранных методов включаются в состав соответствующей нормативной и технической документации: программ исследований, испытаний, методик проверки и калибровки, проектной, конструкторской, технологической и эксплуатационной документации на ИС.

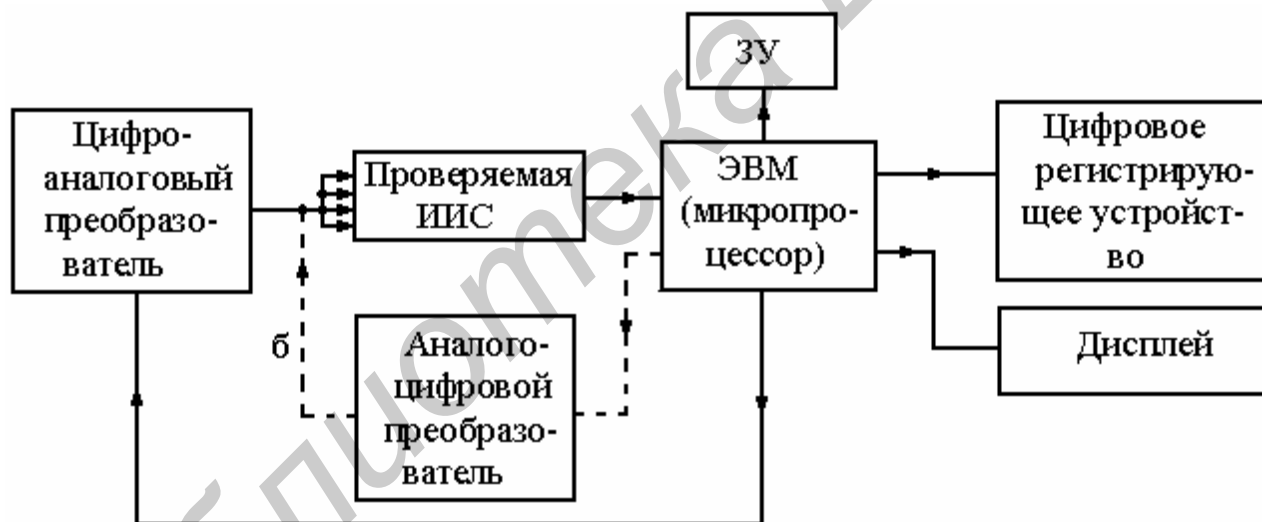


Рисунок 13 – Структурная схема для поверки ИИС

3.4 Общие вопросы погрешностей измерительного канала ИИС

В обобщенном виде измерительный канал ИИС можно представить [21, 24, 25] в виде структурной схемы (рисунок 14), на котором показано, что каждое из устройств системы вносит некоторую погрешность (Δ), связанную либо с внешними условиями работы (влияние температуры, нестабильность источника питания и т.д.), либо с их свойствами (усиления, преобразования и т.д.).

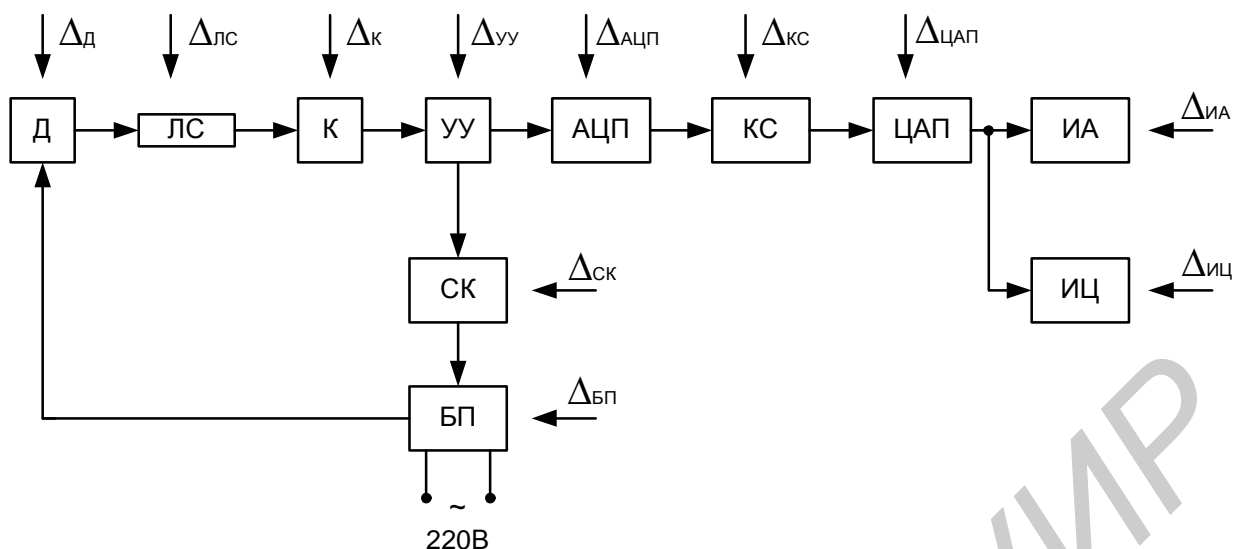


Рисунок 14 – Обобщенная структурная схема измерительного канала с учетом вносимых погрешностей

На рисунке 14 обозначены: Δ_d – погрешность датчика (Д); $\Delta_{лс}$ – погрешность линии связи (ЛС); Δ_k – погрешность коммутатора (К); $\Delta_{уу}$ – погрешность унифицирующего устройства (УУ); $\Delta_{ацп}$ – погрешность аналого-цифрового преобразователя (АЦП); $\Delta_{кс}$ – погрешность канала связи (КС); $\Delta_{цап}$ – погрешность цифро-аналогового преобразователя (ЦАП); $\Delta_{иа}$ – погрешность аналогового измерителя (ИА); $\Delta_{иц}$ – погрешность цифрового измерителя; $\Delta_{ст}$ – погрешность стабилизатора напряжения (СН); $\Delta_{бп}$ – погрешность блока питания (БП).

Для определения общей погрешности канала ИИС необходимо предварительно определить погрешности, вносимые входящими в него устройствами, используя технические данные на них, или рассчитать по приведенным соотношениям в части 1, а также определить вид аналитической модели закона распределения погрешностей.

В таблице 1 приведены наиболее распространенные законы распределения, применение которых определяется характером возникновения погрешностей.

Равномерный закон распределения (таблица 1) применяется для погрешности квантования в цифровых приборах, погрешности от округления при расчетах, при отсчете показаний аналоговых приборов, погрешности трения в стрелочных приборах, самоуравновешивающих мостах и потенциометрах, погрешности при отсчетах в электронных цифровых хронометрах и частотомерах и т.д.

Треугольный закон распределения применяется для колебаний напряжения питания переменным током от сети, погрешности коэффициента усиления усилителя (таблица 1).

Для погрешностей, возникающих при измерении электрическими средствами как электрических, так и неэлектрических измеряемых величин, связанных с наводками на вход прибора или линии связи (ЛС) синусоидальным

напряжением с частотой 50 или 400 Гц, применяется закон **арксинусоидальной** функции (таблица 1).

Погрешности, связанные с процессом градуировки шкал измерительных приборов, с измерением случайно появляющихся значений измеряемых величин и т.д., могут быть описаны **экспоненциальным** законом (таблица 1) распределения Гаусса (Стьюдента).

При расчете результирующей погрешности канала необходимо каждой из составляющих погрешностей (рисунок 14) приписать соответствующий закон распределения, найти среднее квадратическое отклонение (СКО) и подразделить погрешности на аддитивные и мультипликативные.

Таблица 1 – Законы распределения погрешностей

Закон распределения	Вид функции распределения	ε	Δ_M/σ	t
Равномерный		1,8	$\sqrt{3} \approx 1,73$	1,73
Треугольный		2,4	$\sqrt{6} \approx 2,45$	2,02
Арксинусоидальный		1,5	$\sqrt{2} \approx 1,41$	1,11
Гаусса (Стьюдента)		3	2,006	1,9003
Трапецеидальный		2,016	2,19	1,93

К **мультипликативным** относятся такие погрешности, для которых абсолютная погрешность $\Delta(t)$ возрастает прямо пропорционально текущему значению x измеряемой величины. Поэтому относительная погрешность (γ_s), т.е. погрешность чувствительности такого преобразователя равна

$$\gamma_s = \frac{\Delta(t)}{x} \quad (14)$$

и оказывается постоянной величиной при любом значении x . Таким способом нормируются погрешности масштабных преобразователей (делителей напряжения, шунтов, измерительных трансформаторов тока и напряжения и т.д.). Их класс точности указывается в виде значения γ_s , выраженного в процентах.

Границы относительной погрешности результата измерения $\gamma(x)$ в этом случае постоянны и при любом x просто равны γ_s , а абсолютная погрешность результата измерения определяется по формуле

$$\Delta(t) = \gamma_s x. \quad (15)$$

Однако реально таких идеальных преобразователей нет, так как невозможно создать преобразователь, полностью лишенный аддитивных погрешностей, которые определяются наличием электронных шумов, дрейфа нуля, трения, наводок, вибраций и т.д., неизбежных в любых типах преобразователей.

Аддитивные погрешности характеризуются тем, что для любых значений x граница абсолютной погрешности нуля $\Delta(t) = \Delta_0 = \text{const}$. Но нормировать абсолютное значение Δ_0 неудобно, так как для многопредельных приборов оно будет различным для каждого из поддиапазонов измерения. Поэтому нормируется приведенное значение (γ_0) этой погрешности, т.е.

$$\gamma_0 = \frac{\Delta_0}{X_N}, \quad (16)$$

где X_N – нормируемое значение измеряемой величины.

По ГОСТ 8.401–80 за эту величину принимают верхний предел диапазона измерений, если нулевая отметка находится на краю или вне шкалы (для равномерной или степенной шкалы). Если же нулевая отметка находится посередине шкалы, то X_N равно протяженности диапазона измерения (например, вольтметр со шкалой от -10 до $+50$ В имеет $X_N = 50 - (-10) = 60$ В).

Значение γ_0 , выраженное в процентах, используется для обозначения класса точности такого преобразователя. Однако в этом случае текущее значение погрешности, равное $\gamma(x) = \Delta_0/x$, растет обратно пропорционально x и максимальная погрешность, равная классу точности прибора γ_0 , будет лишь тогда, когда $x \rightarrow X_N$, и будет стремиться к 100 %, если $x \rightarrow \Delta_0$.

Расчеты всех составляющих погрешностей канала, определение максимальных погрешностей, СКО необходимо вести в относительных приведенных значениях и при промежуточных округлениях сохранять один лишний, недостоверный знак в их значениях с тем, чтобы округление по правилам ГОСТа произвести лишь над конечным результатом.

3.5 Общий подход к определению погрешности измерительного канала

3.5.1 Основные положения общего подхода

Рассмотренный выше метод нахождения характеристик погрешности измерительного канала (ИК), который порознь учитывает влияние внешних возмущающих воздействий и заключается в суммировании характеристик элементарных погрешностей ИК, не позволяет учесть коррелированность элементарных погрешностей, поэтому его надо рассматривать как приближенный.

Возможен другой метод, получивший название общего подхода к определению погрешностей, который допускает нахождение результирующей погрешности ИК непосредственно. Он свободен от приближенной процедуры суммирования характеристик элементарных погрешностей ИК. Кроме того, он учитывает, что деление на элементарные погрешности является условным и не может быть выполнено строго [59].

Входящие в ИК измерительные преобразователи (рисунок 15) реализуют различные информационные процессы: измерительную информацию они извлекают, масштабируют, передают, запоминают, фильтруют ... Они работают на различных физических принципах и имеют разные устройства. Однако общим для них является то, что все они относятся к средствам измерения, а следовательно, имеют единые нормируемые по ГОСТ 8.009–84 метрологические характеристики.

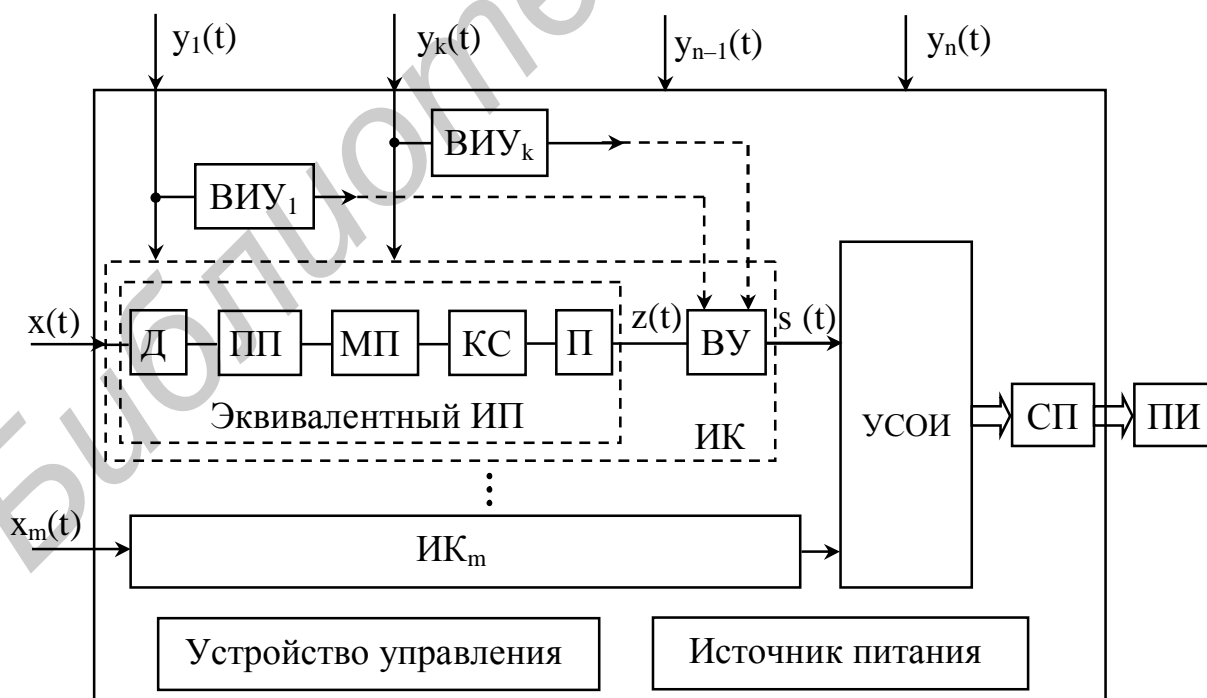


Рисунок 15 – Обобщенная структурная схема ИИС

Основной из них является **номинальная статическая характеристика преобразования** $f_n[x]$. Она указывает номинальное значение выходного

сигнала измерительного преобразователя (ИП) $z_H = f_H[x]$ в установившемся статическом режиме, соответствующее входному сигналу x . Находится она и проверяется при градуировке. Поэтому чаще $f_H[x]$ называют **номинальной градуировочной характеристикой**.

Для линейных ИП номинальная градуировочная характеристика равна

$$z_H = f_H[x] = k x + Z_0, \quad (17)$$

где k – номинальный коэффициент усиления;

Z_0 – номинальное смещение нуля. Как правило, $Z_0 = 0$.

Функция $x = f_H^{-1}[z_H]$, обратная номинальной градуировочной характеристике $f_H[x]$, используется при приведении выходного сигнала ИП z к его входу. Поскольку выходной сигнал ИП равен z , а не z_H , то найти x не удастся. Вместо него находим номинальное значение x_H входного сигнала ИП. Заменяя в выражении $x = f_H^{-1}[z_H]$ x на x_H и z_H на z , получим новую функцию, которая называется **обратной номинальной градуировочной характеристикой** $F_H[z] = x_H$. Она отличается от $x = f_H^{-1}[z_H]$ другими переменными. Как и градуировочная характеристика, $F_H[z]$ связывает сигналы на входе и выходе ИП в установившемся статическом режиме при нормальных условиях.

Для линейных ИП обратная номинальная градуировочная характеристика имеет вид

$$x_H = F_H[z] = \frac{z - Z_0}{k}. \quad (18)$$

Если взять обратную функцию $z = F_H^{-1}[x_H]$ и заменить в ней x_H на x и z на z_H , то вновь получим номинальную градуировочную характеристику $f_H[x]$, которая нормируется согласно ГОСТ 8.000–84, ГОСТ 8.256–77 и ГОСТ 23222–78 для каждого средства измерения в сопроводительной документации. Например, в стрелочных вольтметрах выходной сигнал измерительного механизма z – угол отклонения стрелки – приводится ко входу прибора с помощью шкалы.

В ИК обратная номинальная градуировочная характеристика заложена в вычислительное устройство (ВУ), на вход которого поступает выходной сигнал $z(t)$ линейных ИП (рисунок 15), образующих ИК: Д – датчик; ПП – промежуточные преобразователи; МП – масштабные преобразователи; КС – канал связи; П – устройство памяти. Перечисленные устройства составляют некоторый обобщенный измерительный преобразователь (ИП), который совместно с ВУ образует измерительный канал (ИК), с выхода которого преобразованный измерительный сигнал $s(t)$ поступает к потребителю информации (ПИ). Если имеем многоканальную систему, то ИИС содержит n ИК, сигналы с которых поступают на устройство сбора и обработки

информации (УСОИ) и через согласующий преобразователь (СП) поступает к ПИ.

Описанные выше информационные процессы в ИИС протекают под влиянием на ИК внешних возмущающих воздействий $y_1(t)$, $y_2(t)$, $y_n(t)$, где n – количество внешних воздействий. Для устранения этих воздействий и повышения точности ИИС очень эффективным является метод компенсации внешних возмущающих воздействий путем введения вспомогательных измерительных устройств (ВИУ₁, ВИУ₂, ... ВИУ_n), которые непрерывно измеряют n внешних возмущающих воздействий. Их показания $\gamma_1(t)$, $\gamma_2(t)$, ... $\gamma_{n-1}(t)$ поступают в вычислительное устройство (ВУ) для внесения поправок в показания ИК. При этом могут учитываться и контролироваться не все n возмущающих воздействий, а только $n-1$, создающие наибольшее влияние на общую погрешность ИК.

В линейных ИК сигнал $z(t)$ приводится ВУ к его входу, корректируется и выдается в виде исправленного показания $x_H(t)$ в масштабе измерительного сигнала, т.е. $s(t) = x_H(t)$, при этом номинальный коэффициент усиления $k = 1$, а номинальное смещение $Z_0 = 0$. Такие ИК воспроизводят измеряемый сигнал и называются воспроизводящими.

Погрешность ИК прежде всего зависит от погрешностей ИП. Погрешности ИП выражают в единицах входного и выходного сигнала ИП и называют соответственно погрешностями по входу и выходу. Образование каждой из этих погрешностей показано с помощью структурных схем на рисунке 16.

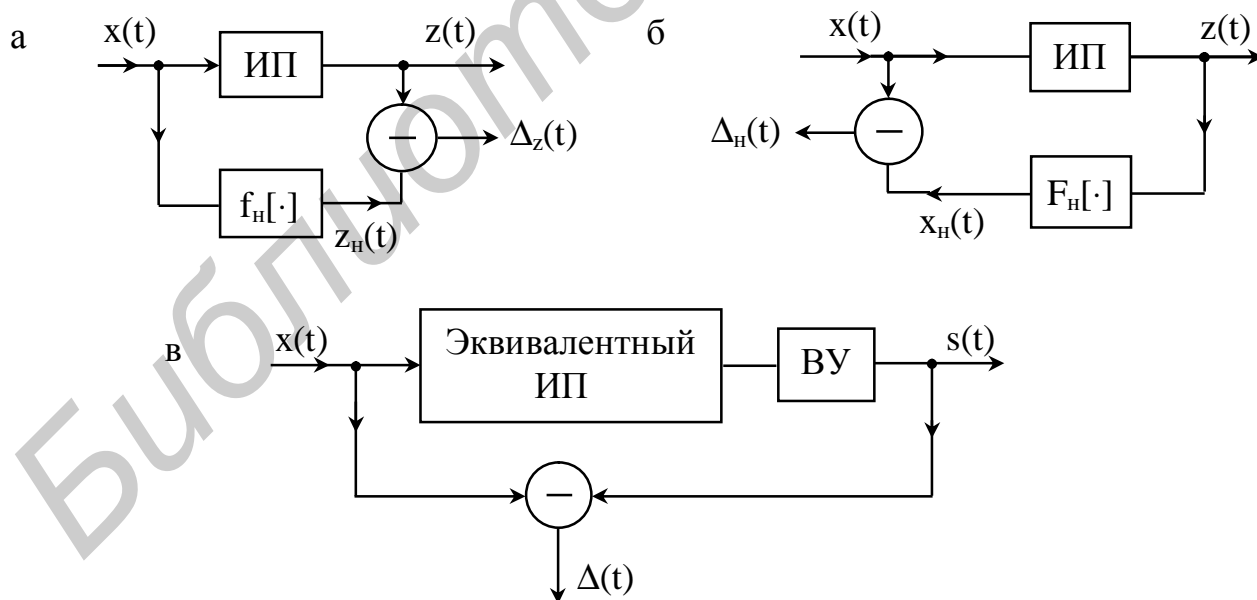


Рисунок 16 – Структурные схемы образования погрешностей ИК

Преобразование истинного измеряемого сигнала $s(t)$ со входа ИП в истинный выходной сигнал $z(t)$ подчиняется истинной функции преобразования. Но истинная функция преобразования неизвестна. Поэтому

вместо нее пользуются известной номинальной функцией, которая дает номинальное значение выходного сигнала ИП $z_H(t) = f_H[x(t)]$ (рисунок 16, а). Разность между истинным сигналом $z(t)$ и номинальным значением выходного сигнала $z_H(t)$, определяемым с помощью номинальной градуировочной характеристики $f_H[x(t)]$, называется согласно ГОСТ 16263–70 **абсолютной погрешностью ИП по выходу** $\Delta_z(t)$. Для линейных ИП с учетом выражения (17) погрешность по выходу равна

$$\Delta_z(t) = z(t) - z_H(t) = z(t) - f_H[x(t)] = z(t) - k x(t) - Z_0. \quad (19)$$

Поскольку интересует не сам сигнал $z(t)$, а содержащаяся в нем измерительная информация о входном сигнале $x(t)$, то выходной сигнал приводят ко входу ИП.

Так как обратная реальная функция преобразования ИП неизвестна, то приведение выходного сигнала ко входу осуществляют с помощью обратной номинальной градуировочной характеристики $F_H[z(t)]$ (рисунок 16, б). Возникающая при этом разность между номинальным $x_H(t) = F_H[z(t)]$ и истинным значением $x(t)$ входного сигнала называется согласно ГОСТ 16263–70 **абсолютной погрешностью ИП по входу** $\Delta_x(t)$. Для линейных ИП с учетом (18) погрешность по входу равна

$$\Delta_x(t) = x_H(t) - x(t) = f_H[z(t)] - x(t) = \frac{z(t) - Z_0}{k} - x(t). \quad (20)$$

Величины $\Delta_x(t)$ и $\Delta_z(t)$ выражаются соответственно в единицах входного и выходного сигналов ИП. Например, для стрелочного вольтметра погрешность по входу выражается в вольтах, а по выходу измерительного механизма – в градусах поворота стрелки.

Для линейного воспроизводящего ИК **абсолютная погрешность** $\Delta(t)$ равна (рисунок 16, в)

$$\Delta(t) = s(t) - x(t) = x_H(t) - x(t) \quad (21)$$

и имеет размерность измеряемого сигнала.

Погрешности ИК классифицируются по режимам измерения и условиям эксплуатации. Погрешности ИК в динамическом режиме называются **динамическими**, а в статическом – **статическими**. Обычно статические погрешности рассматриваются как частный случай динамических, когда изменением во времени измеряемого сигнала можно пренебречь и считать $x(t) = x$.

Переходными называются статические и динамические погрешности ИК в переходном режиме. В установившемся режиме эти же погрешности называются **установившимися** и рассматриваются как частные случаи переходных погрешностей, когда переходными процессами в ИК можно пренебречь.

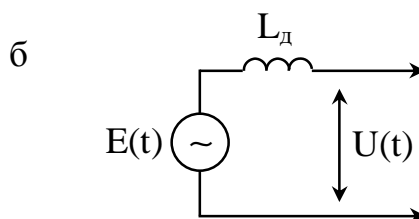
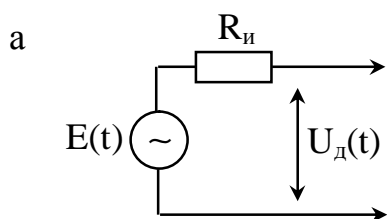
Рассмотренные выше погрешности ИК в рабочих условиях эксплуатации называют **погрешностями в рабочих условиях**. В нормальных условиях эксплуатации эти погрешности называют **основными** и рассматривают как частные случаи погрешности ИК в рабочих условиях, когда действием влияющих физических величин на ИК можно пренебречь и считать $y_n(t) = 0$.

Каждый ИК реализует определенные физические процессы преобразования сигналов и методы извлечения измерительной информации. Несовершенство этих методов приводит к появлению **методических погрешностей** ИК. Например, в пьезоэлектрических акселерометрах линейное ускорение преобразуется инерционным элементом в силу, которая пьезоэлектриком преобразуется в электрический сигнал. Преобразование силы в электрический сигнал практически безынерционное. Преобразование же ускорения в силу из-за наличия инерционного элемента не является безынерционным. В динамическом режиме эта инерционность становится методической погрешностью акселерометра. Методическая погрешность является минимально возможной для данного принципа измерения погрешностью идеально изготовленного ИК. Для реальных ИК погрешности будут больше из-за неидеальности и изменчивости свойств используемых в ИК материалов и элементов, технологического разброса параметров деталей, неточности регулировок и градуировки, шумов в электронных элементах схемы, а также других возмущающих воздействий. Поэтому методическую погрешность ИК следует рассматривать как частный случай инструментальной погрешности реального ИК, когда влиянием внутренних возмущающих воздействий можно пренебречь.

Таким образом, погрешность ИК необходимо рассматривать не как помеху, накладываемую на входной сигнал, а как сам измеряемый сигнал, сузившийся в результате измерения вокруг показания и описываемый заданным законом распределения.

3.5.2 Моделирование измерительного канала ИИС

Входящие в ИК (см. рисунок 15) устройства: датчики (Д), промежуточные и масштабные преобразователи (ПП и МП), канал связи (КС) и устройства памяти (П) – могут быть представлены некоторыми эквивалентными схемами (рисунок 17). Так, датчик можно рассматривать как некоторый источник сигнала. Тогда, например, термопару можно представить как источник ЭДС $E(t)$ с некоторым внутренним сопротивлением $R_{и}$ (рисунок 17, а), индуктивный датчик напряжения – схемой рисунка 17, б, а пьезодатчик – схемой, показанной на рисунке 17, в.



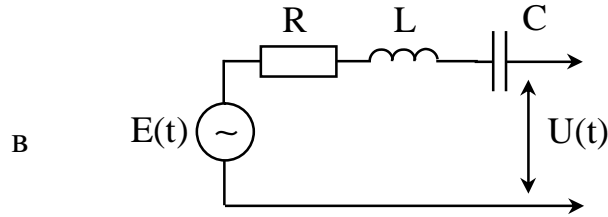


Рисунок 17 – Эквивалентные схемы датчиков

В ИК последующие устройства (ПП, МП, КС, П) могут быть представлены в зависимости от схемы их построения обобщенными эквивалентными схемами (рисунок 18, а, б), имеющими соответствующие им функции передачи $H(p)$ в операторной форме

$$H(p) = \frac{1}{pRC + 1} \quad \text{и} \quad H(p) = \frac{1}{1 + \frac{1}{pRC}}, \quad (22)$$

где $p = j\omega$.



Рисунок 18 – Обобщенные эквивалентные схемы измерительных преобразователей и их функции передачи

Нагрузку ИК можно представить в виде эквивалентной модели, создающей выходной сигнал напряжения (рисунок 19, а) или тока (рисунок 19, б).

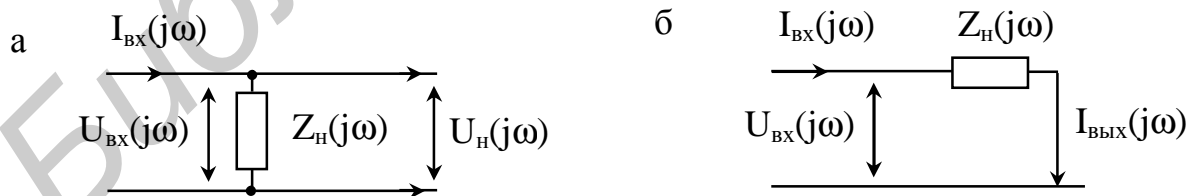


Рисунок 19 – Эквивалентные схемы нагрузок

Для индуктивного датчика напряжений с чисто активной нагрузкой ИК можно представить эквивалентной схемой, показанной на рисунке 20.

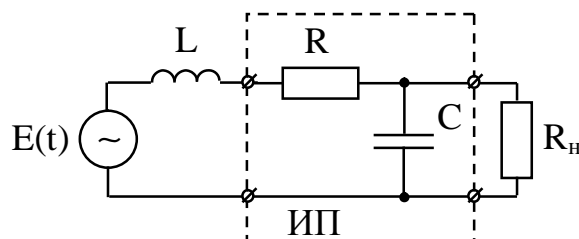
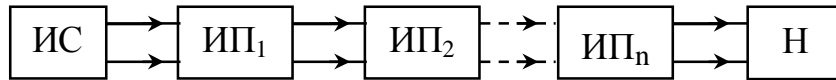


Рисунок 20 – Эквивалентная модель ИК

Если количество ИП равно n , то эквивалентная схема ИК должна содержать такое же количество последовательно соединенных $ИП_n$ и обобщенная структурная схема будет иметь следующий вид (рисунок 21):



ИС – эквивалентный источник сигнала; $ИП_n$ – n эквивалентных измерительных преобразователей; Н – эквивалентная нагрузка

Рисунок 21 – Обобщенная структурная схема ИК

При таком представлении ИК появляется возможность анализировать его работу как в статическом, так и в динамическом режимах, учитывая при этом влияние как внутренних помех, так и внешних воздействий, показанных на рисунке 15, приводящих к погрешности ИК.

3.5.3 Учет нестационарности ИП

В рабочих условиях эксплуатации существенное влияние на результат и точность измерения оказывают внешние возмущающие воздействия. Поэтому одним из требований к нахождению характеристик погрешности ИК, изложенных в 3.5.1, является наиболее полный учет влияния внешних возмущающих воздействий.

Внешние возмущающие воздействия влияют на ИП различными путями. Первый путь – через вход ИП. Возмущающее воздействие попадает на вход ИП вместе с входным сигналом, преобразуется наравне с ним и искажает выходной сигнал. Так, например, влияет температура окружающей среды при измерении температуры нагрева печатных плат и радиокомпонентов. В этом случае возмущающее воздействие попадает на вход ИП непосредственно. В других случаях влияние на вход ИП внешнего воздействия осуществляется через корреляцию с входным сигналом. Например, если измеряется влажность объекта, то она коррелирована с температурой окружающей среды и т.д.

Второй путь – это изменение параметров ИП. Например, с изменением температуры окружающей среды изменяется сопротивление резисторов, увеличиваются тепловые и дробовые шумы в электронных элементах схемы и т.д.

Третьим является путь непосредственного проникновения внешних физических величин через ИП на его выход. Примером такого проникновения служит появление наводок в проводах схемы в результате влияния внешних электромагнитных полей. Правильным проектированием ИП это можно полностью устранить.

Математическая модель ИП, пригодная для инженерных расчетов, которая учитывает нестационарность его параметров, зависящих от рассмотренных

выше внешних воздействий и учтенных с помощью эквивалентных внутренних шумов, показана на рисунке 22, где $H(t)$ – номинальная импульсная переходная функция нагруженного ИП; $v(t)$ и $n(t)$ – эквивалентные внутренние шумы; $y(t)$ – эквивалентное внешнее возмущающее воздействие.

Внутренний шум $v(t)$ перемножается с выходным сигналом звена ИК, поэтому он получил название мультипликативного шума (помехи). Мультипликативный шум моделирует совокупный результат случайного изменения частных динамических характеристик ИП: коэффициента усиления, постоянной времени и т.д. Внутренний шум $n(t)$ суммируется с выходным сигналом $z(t)$, поэтому он называется аддитивным шумом (помехой). Он моделирует появление выходного сигнала ИП при отсутствии входного из-за случайного изменения параметров ИП. Результатом действия аддитивного шума $n(t)$ является так называемый дрейф нуля.

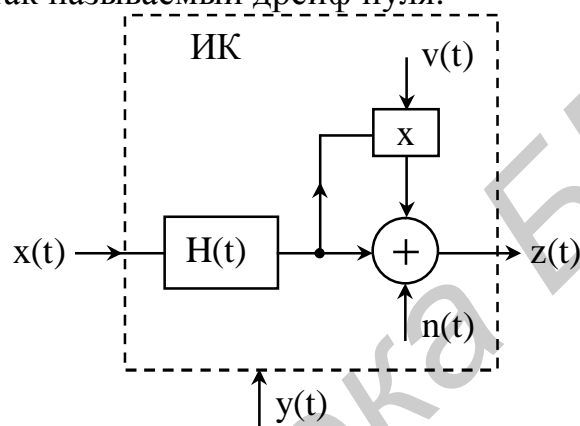


Рисунок 22 – Модель ИК с учетом внешних помех

Для того чтобы найти вероятностные характеристики сигнала ИП $z(t)$ при известных характеристиках входного сигнала $x(t)$, необходимо связать эти сигналы уравнениями. Наиболее наглядно выходной сигнал определяется через входной с помощью интеграла Дюамеля в следующем виде:

$$z(t) = \int_{t_0}^t H(t - \tau)[1 + v(t)]x(\tau)d\tau + n(t). \quad (23)$$

Если рассматривать мультипликативный шум $v(t)$ как результат случайного изменения только коэффициента усиления k , то выражение (23) примет вид

$$z(t) = \int_{t_0}^t g(t - \tau)[k + v(t)]x(\tau)d\tau + n(t), \quad (24)$$

где $g(t) = \frac{H(t)}{k}$ – нормированная импульсная переходная функция;

k – коэффициент усиления;

$(k + v(t))$ – случайно изменяющийся коэффициент усиления.

Для учета вышеописанных внутренних шумов, связанных с внешними воздействиями, полагаем, что входной сигнал $x(t)$ описывается нормальным случайным процессом $\{x(t)\}$ с нестационарным математическим ожиданием

$m_x(t)$ и стационарной ковариационной функцией $R_x(\tau)$. Ограничиваясь только одним внешним возмущающим воздействием $y(t)$, опишем его мультипликативным $v(t)$ и аддитивным $n(t)$ шумами, стационарно связанными случайными процессами $\{y(t)\}$, $\{v(t)\}$ и $\{n(t)\}$ с математическими ожиданиями m_y , m_v , m_n и ковариационными функциями $R_v(\tau)$, $R_n(\tau)$ и взаимоквариационными $R_{yv}(\tau)$, $R_{yn}(\tau)$, $R_{vn}(\tau)$. Кроме того, процесс $\{y(t)\}$ стационарно связан с процессом $\{x(t)\}$ и их взаимоквариационная функция $R_{xy}(\tau)$ полагается известной.

Определим вероятностные характеристики выходного сигнала ИП, которые опишем случайным процессом $\{z(t)\}$. Поскольку в (23) перемножаются нормально распределенные процессы $\{x(t)\}$ и $\{v(t)\}$, то процесс $\{z(t)\}$ не будет нормальным. Однако, принимая во внимание малость $\{v(t)\}$, процесс $\{z(t)\}$ также будем считать ненормальным. Следовательно, необходимо найти лишь его моменты не выше второго порядка, а также взаимоквариационные функции с процессами $\{x(t)\}$ и $\{y(t)\}$.

Математическое ожидание $m_z(t)$ выходного сигнала ИП определится из выражения (23) как

$$m_z(t) = (1 + m_v) \int_{t_0}^t H(t - \tau) m_x(\tau) d\tau + m_n. \quad (25)$$

Для того чтобы получить ковариационную функцию $R_z(t_1, t_2)$ случайного процесса $\{z(t)\}$, необходимо выражение (23) записать для момента времени $t = t_1$, затем для $t = t_2$ и найти интеграл от их произведения в виде

$$R_z(t_1, t_2) = \int_{t_0}^{t_1} z(t_1 - \tau_1) \int_{t_0}^{t_1} z(t_2 - \tau_2) d\tau_1 d\tau_2. \quad (26)$$

Если в выражении (26) положить $t_1 = t_2 = t$, то получим дисперсию $\sigma_z^2(t)$ выходного сигнала ИП. Кроме того, для расчета характеристик погрешностей ИП необходимо знать взаимоквариационные функции выходного сигнала с входным сигналом $R_{xz}(t_1, t_2)$ и внешним воздействием $R_{yz}(t_1, t_2)$. Функция $R_{xz}(t_1, t_2)$ может быть получена путем умножения выражения (23) на $x(t_1)$ при $t_1 = t_2$ и перехода к смешанному центральному моменту второго порядка. Тогда

$$R_{xz}(t_1, t_2) = (1 + m_v) \int_{t_0}^{t_1} H(t_2 - \tau_2) R_x(t_1 - \tau_2) d\tau_2. \quad (27)$$

Аналогично находится и взаимоквариационная функция

$$R_{yz}(t_1, t_2) = \int_{t_0}^{t_1} [(1 + m_v) H(t_2 - \tau_2) R_{xy}(t_1 - \tau_2) + R_{yv}(t_2 - t_1) H(t_2 - \tau_2) m_x(\tau_2)] d\tau_2 + R_{yn}(t_2 - t_1). \quad (28)$$

3.5.4 Погрешности ИК

ИК отличается от эквивалентного ИП приведением выходного сигнала z ИП ко входу ИК и коррекции его показаний. Эти операции в ИК осуществляются безынерционным вычислительным устройством (ВУ) (рисунок 15). Рассмотрим вначале определение погрешностей ИК, осуществляемое на приведении выходных сигналов z ИП ко входам ИК с помощью обратных градуировочных характеристик (18) $x_n = F_n[z] = [z - Z_0]/k$, определяемых из номинальных градуировочных характеристик ИП. Для этого необходимо выполнение следующих условий, при которых возможна такая процедура определения погрешностей ИК:

Во-первых, все ИП, входящие в ИК, должны быть линейными в динамике для того, чтобы выполнялся принцип суперпозиции и ИК был линейным;

Во-вторых, метрологические характеристики каждого ИП, в том числе и характеристики его погрешности, не должны зависеть от подключения ИП к источнику сигнала, нагрузки и другим ИП. Такая инвариантность обеспечивается двумя путями: созданием для каждого ИП режима, близкого к короткому замыканию на входе и холостому ходу на выходе, а также согласованием ИП по входу и выходу. В первом случае режим работы обеспечивается тогда, когда входное сопротивление ИП много больше сопротивления источника, а выходное сопротивление – много меньше сопротивления нагрузки. Передаточная функция будет равна некоторой величине $H_0(p)$, и мгновенное значение измеряемого сигнала в этом случае преобразуется с наибольшей точностью. Во втором случае входное и выходное сопротивления преобразователя выполняются равными сопротивлениям соответственно источника и нагрузки, передаточная функция равна $H_c(p)$ и создаются наиболее благоприятные условия для преобразования энергии измеряемого сигнала. Согласование ИП между собой осуществляется специальными согласующими устройствами, входящими в агрегатированные комплексы, или интерфейсами.

В-третьих, должна существовать возможность нахождения характеристик ИП в отдельности для конкретных сигналов.

В-четвертых, внешние возмущающие воздействия, влияющие на разные ИП, не должны быть коррелированы между собой. Полагаем, что на каждый ИП влияет только одно внешнее возмущающее воздействие, кроме того, они некоррелированы с входным сигналом ИП.

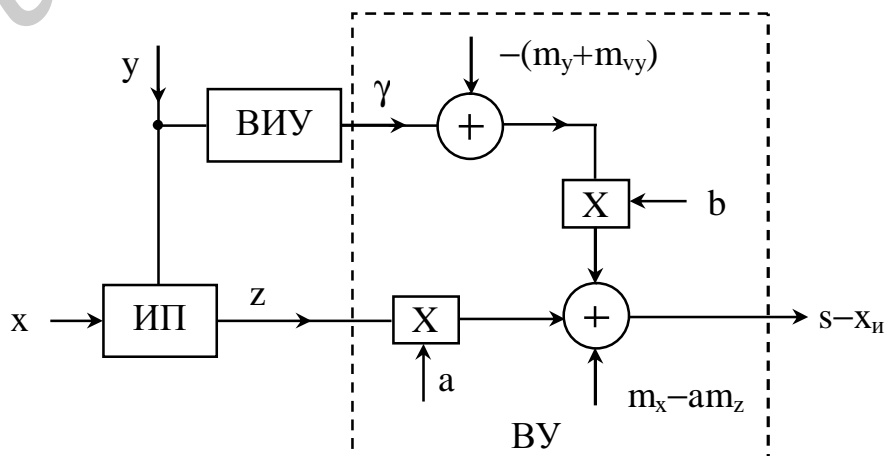
Если сформулированные условия не выполняются, то вычисление погрешности эквивалентного ИП по погрешностям входящих в него ИП приводит к большим неточностям. В этом случае целесообразнее рассматривать эквивалентный ИП как единое целое.

С учетом указанных ограничений ИК будут воспроизводящими, номинальные коэффициенты усиления равны единице и выходные сигналы s равны номинальным значениям входных сигналов x_n . При этом погрешности ИК Δ имеют размерности измеряемых сигналов. Кроме того, приведение

сигнала z ко входу ИК по линейной зависимости (20) вызывает нормальное распределение выходного сигнала ИК и его погрешности. Найти ее характеристики для наиболее общего случая – переходного динамического режима измерения в рабочих условиях эксплуатации можно, воспользовавшись соответствующими характеристиками погрешности эквивалентного ИК по входу.

Однако приведение выходного сигнала эквивалентного ИП ко входу ИК по обратной номинальной градуировочной характеристике не учитывает режимов измерений и условий эксплуатации ИК. Чтобы учесть последние, применяется метод оптимальной градуировки ИК, который сразу дает исправленные показания ИК $x_{и}$, равные наиболее вероятному значению измеряемого сигнала во всех режимах измерений и условий эксплуатации. При этом приведение сигнала z к входу ИК и коррекция его показаний совмещаются, а выходной сигнал $s = x_{и}$.

Для реализации оптимальной обратной градуировочной характеристики в ИК применяется вычислительное устройство (ВУ) (рисунок 15), структурная схема которого показана на рисунке 23. Показания γ вспомогательного измерительного устройства (ВИУ) и сигнала z ИП поступают в вычислительное устройство (ВУ). В нем из показания γ вычитается сумма $(m_y + m_{vy})$, характеризующая математическое ожидание m_y внешней помехи y и мультипликативного шума (помехи) m_{vy} . Эта разность умножается на коэффициент b и поступает на вход сумматора. На второй вход сумматора поступает умноженный на коэффициент a сигнал z ИП, а на третий – разность $(m_x - a m_z)$, где m_x и m_z – математические ожидания входного и выходного сигналов ИП. Сигнал на выходе сумматора и ВУ $x_{и}$ будет оптимальным по точности показанием ИК. Коэффициенты a и b зависят от закона распределения случайных воздействий и определяются через их дисперсии σ_y^2 , σ_{vy}^2 , σ_x^2 , σ_z^2 , σ_n^2 и их ковариационные функции $R_v(\tau)$, $R_{vy}(\tau)$, $R_{yn}(\tau)$, $R_n(\tau)$, $R_{xy}(\tau)$. При стационарном случайном сигнале на входе ИК коэффициенты a , b и математическое ожидание m_z в установившемся режиме измерения не зависят от времени и являются функциями вероятностных характеристик внешних возмущающих воздействий. В переходных режимах коэффициенты a , b и m_x являются функциями времени и ВУ должно быть самонастраивающимся.



3.6 Калибровка измерительных каналов ИИС

Калибровка измерительных каналов ИИС осуществляется на основании методических указаний по организации и порядку проведения их [21]. Цель калибровки – определение и подтверждение действительных значений МХ (метрологических характеристик) и пригодности к применению ИК (измерительного канала). Калибровка ИК может проводиться двумя методами:

- комплектно;
- поэлементно.

Если калибровку невозможно провести комплектным методом, то ее проводят поэлементно.

Под элементами ИК ИИС понимаются отдельные средства измерений (СИ) или совокупности СИ и других технических средств, включая линии связи, используемых в ИК. При проведении калибровки поэлементным методом отдельно калибруются первичный измерительный преобразователь (ПИП) или ПИП и измерительный преобразователь (ИП), а также электрический тракт ИК.

Калибровке подвергаются все ИК с интервалами, указанными в свидетельстве о метрологической аттестации (МА). При проведении калибровки должны быть выполнены следующие операции:

- проверка наличия технической документации на ИИС и агрегатные средства измерений, входящие в ИК;
- внешний осмотр;
- проверка функционирования ИК;
- определение метрологических характеристик;
- обработка результатов экспериментальных исследований;
- оформление результатов калибровки.

Для проведения калибровки применяются средства калибровки (эталон), которые должны обеспечивать воспроизведение и (или) хранение единиц физических величин с наивысшей точностью с целью передачи их значений ИК от соответствующих государственных эталонов. Допускается использование встроенных эталонов и источников сигналов, входящих в состав ИИС, а также замена используемых эталонов на другие, если их технические характеристики не хуже характеристик эталонов.

Перед проведением калибровки необходимо:

- подготовить и проверить комплект технической документации на ИИС;
- провести инструктаж персонала, участвующего в калибровке;
- подготовить градуировочные таблицы для термоэлектрических преобразователей и термопреобразователей сопротивления, таблицы расчетных значений перепадов давления для ИК расхода и уровня и т.д.;
- подготовить и установить эталоны и вспомогательные СИ для задания входного сигнала и контроля влияющих величин;
- установить связь (по радио или телефонную) от средств задания входного сигнала до средств представления информации.

Проведение калибровки начинается с внешнего осмотра с целью проверки:

- комплектности ИК;
- правильности и качества выполнения экранировки, монтажа линий связи;
- отсутствия механических повреждений и дефектов СИ, входящих в состав ИК;

– выполнения заземления СИ, входящих в ИК, в соответствии с требованиями инструкций по эксплуатации или технических описаний на конкретные СИ. Затем проверяется функционирование ИК путем вывода значений измеряемой величины технологического параметра на средства представления информации. Если значение измеряемого параметра соответствует режиму работы оборудования, то считается, что ИК функционирует нормально. После этого определяются МХ ИК.

Перед определением МХ предварительно находится количество точек по диапазону измерений ИК, которых должно быть не менее пяти. Исследуемые точки равномерно располагаются по всему диапазону измерений ИК, причем одна из точек должна соответствовать 0 %, а другая – 100 % диапазона. Если невозможно исследовать точки 0 % и 100 %, то они заменяются точками, в которых действительные значения измеряемого параметра определяются как

$$x_{и0} = x_0 + |\Delta_n| + |\Delta_b|, \quad (29)$$

$$x_{и100} = x_{100} - |\Delta_n| - |\Delta_b|, \quad (30)$$

где $x_{и0}$ и $x_{и100}$ – действительные значения измеряемых параметров;

x_0 и x_{100} – нижний и верхний пределы диапазона измерения ИК;

Δ_n и Δ_b – нижняя и верхняя границы доверительного интервала погрешности измерений ИК, указанные в свидетельстве о метрологической аттестации ИК системы.

Проведение экспериментальных исследований осуществляется по структурным схемам, показанным на рисунке 24. По схеме рисунка 24, а комплексным методом проводится калибровка ИК, которая содержит Э – средство калибровки (этalon); ПИП – первичный измерительный преобразователь (датчик); ИП – измерительный преобразователь; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; К – коммутатор; УСВК – устройство связи с вычислительным комплексом; СПИ – средство представления информации; ВК – вычислительный комплекс; ПУ – печатающее устройство; ИнК – информационный комплекс.

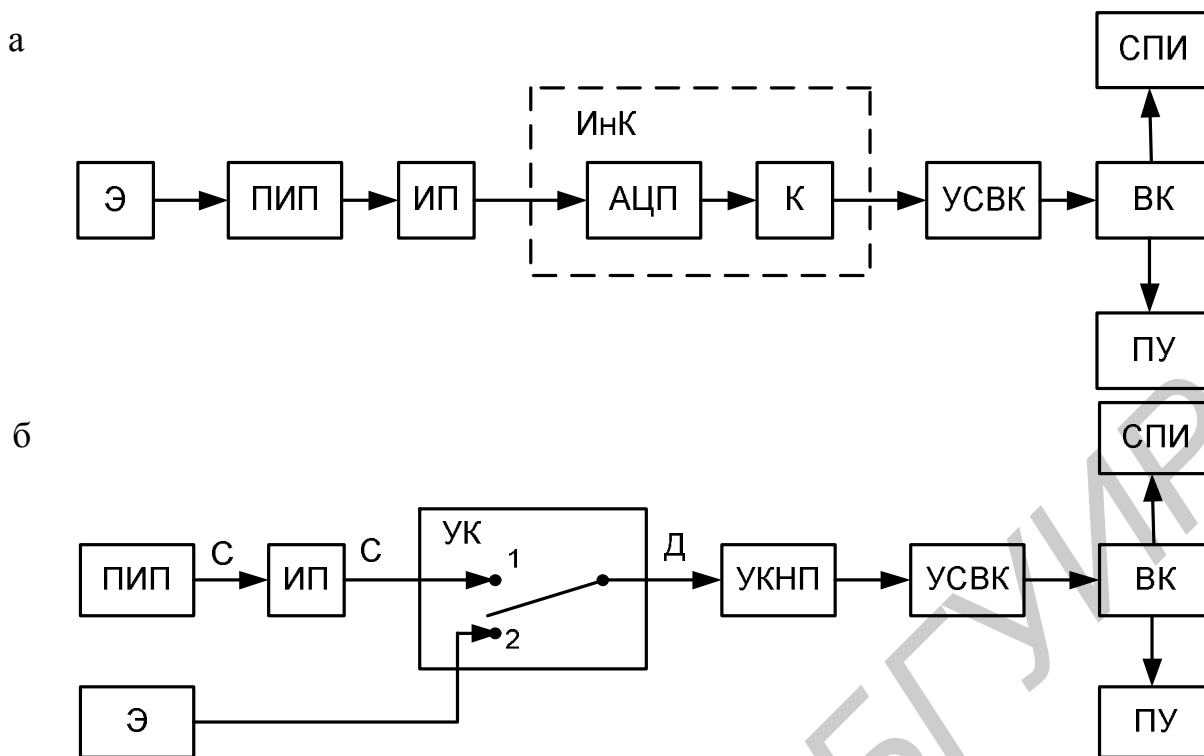


Рисунок 24 – Структурные схемы для проведения калибровки ИК ИИС

На рисунке 24, б показана структурная схема для случая калибровки поэлементным методом, которая дополнительно содержит УК – устройство коммутации, с помощью которого поочередно подается сигнал от эталона (Э) или первичного измерительного преобразователя (ПИП). Образцовый сигнал от эталона (Э) подается на устройство коммутации, нормализации и преобразования (УКНП); С и Д – линии связи. Положение 1 УК – рабочее состояние ИК; 2 – калибровка.

В каждой исследуемой точке проводятся три наблюдения. После проведения экспериментальных работ восстанавливается рабочая схема ИК и проводится проверка его функционирования. Затем осуществляется обработка результатов экспериментальных исследований в следующей последовательности.

1 Определяется погрешность Δ_{ji} ИК для каждого i -го наблюдения в j -й исследуемой точке.

При комплексном методе

$$\Delta_{ji} = x_{ji} - x_{gi}, \quad (31)$$

где x_{ji} – i -е значение параметра экспериментального исследования в единицах измеряемой величины, измеренное в j -й точке.

При поэлементном методе

$$\Delta_{ji} = [(x_{ji} - x_{gi})^2 + \Delta_{\text{ПИП_макс } ij}^2 + \Delta_{\text{ИП_макс } ij}^2 + \sum_{l=1}^m \Delta_{gi/l}^2]^{0,5}, \quad (32)$$

где $\Delta_{\text{ПИП}_{\text{макс } ij}}$ – максимальное значение абсолютной погрешности ПИП в j -й точке;

$\Delta_{\text{ИП}_{\text{макс } ij}}$ – максимальное значение абсолютной погрешности ИП в j -й точке;

l – количество влияющих величин ($l = 1 \dots m$).

2 Определяются средние значения погрешностей ИК в j -й исследуемой точке (при комплексном и поэлементном методах) по формулам

$$\Delta_j^{(3)} = \frac{\sum_{i=1}^3 \Delta_{ji}}{3}, \quad (33)$$

$$\Delta_j^{(2)+} = \frac{\sum_{i=1}^3 \Delta_{ji} - \Delta_{ji_{\text{мин}}}}{2}, \quad (34)$$

$$\Delta_j^{(2)-} = \frac{\sum_{i=1}^3 \Delta_{ji} - \Delta_{ji_{\text{макс}}}}{2}, \quad (35)$$

где $\Delta_j^{(3)}$ – среднее значение погрешности ИК по трем наблюдениям;

$\Delta_j^{(2)+}$ и $\Delta_j^{(2)-}$ – среднее значение погрешности по двум наибольшим (+) и двум (–) наименьшим значениям;

$\Delta_{\text{мин } ji}$ и $\Delta_{\text{макс } ji}$ – соответственно максимальное и минимальное значения погрешности в j -й исследуемой точке.

3 Делается заключение о пригодности ИК. Измерительный канал считается пригодным к эксплуатации, если во всех точках диапазона измерений ИК значения погрешностей, рассчитанных по формулам (32–35), удовлетворяют неравенству

$$\Delta_l < \Delta_{ji} < \Delta_h, \quad (36)$$

или не менее двух значений погрешности, рассчитанных по формулам (32–35) при условии выполнения неравенства

$$\Delta_l < \Delta^{(3)} < \Delta_h \quad (37)$$

и одного из неравенств:

$$\Delta_l < \Delta^{(2)+} < \Delta_h; \quad (38)$$

$$\Delta_l < \Delta^{(2)-} < \Delta_h. \quad (39)$$

По результатам калибровки оформляется сертификат о калибровке ИК ИИС.

4 ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ ИИС

Цель предварительного расчета – на основании ТЗ сделать выбор и обоснование структурной схемы проектируемой ИИС. В процессе предварительного расчета принимаются все основные технические решения и показывается принципиальная возможность разработки ИИС, удовлетворяющей ТЗ при существующих датчиках, унифицирующих устройствах, устройствах сопряжения и отображения информации.

В результате предварительного расчета составляется структурная схема ИИС и обосновываются показатели каждого из входящих в нее блоков, узлов. Последние могут быть стандартными (приложения А – Д) или разрабатываться специально для проектируемой ИИС.

Порядок предварительного расчета следующий:

- выбор типа схемы ИИС исходя из заданного количества измерительных датчиков (каналов);
- определение полосы пропускания линейных трактов, блоков и интерфейсов ИИС исходя из скорости получения информации (постоянной времени) от измерительных датчиков;
- выбор и обоснование метода преобразования измерительной информации для повышения помехозащищенности (кодирование, модуляция) и способа передачи ее к потребителю информации (проводная ЛС, ВОЛС, радиоканал и т.д.);
- определение необходимых устройств отображения информации;
- предварительный расчет погрешности отдельными узлами (блоками) системы, выбранными для построения ИИС;
- составление развернутой структурной схемы ИИС с указанием типов узлов, блоков, интерфейсов и устройств отображения информации.

4.1 Структурные схемы ИИС

В зависимости от способа сбора, передачи измерительной информации и выполняемых функций структурные схемы ИИС имеют большое разнообразие [5, 6, 26–43, 57, 58]. Если же рассматривать обобщенные структурные схемы ИИС, то их можно разделить на:

- 1 ИИС ближнего действия для сбора данных и управления (рисунок 25);
 - 2 ИИС для удаленного сбора данных и управления, которые могут быть реализованы по двум схемам (рисунок 26):
 - с параллельными измерительными каналами (рисунок 26, а);
 - с коммутатором каналов (рисунок 26, б).
- В качестве линии связи (ЛС) может быть: беспроводной (радиоканал), проводной или волоконно-оптический канал (ВОЛС – волоконно-оптическая линия связи). Количество измерительных каналов N может быть $N = 8 \dots 16$;
- 3 ИИС для удаленного сбора данных и управления (рисунок 27).

В таких ИИС количество измерительных каналов N может быть 32, 64, 128, 256 и т.д.

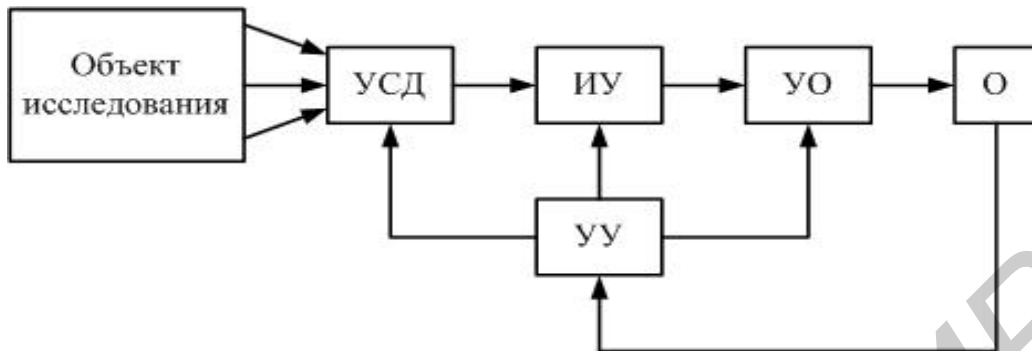


Рисунок 25 – Структурная схема ИИС ближнего действия

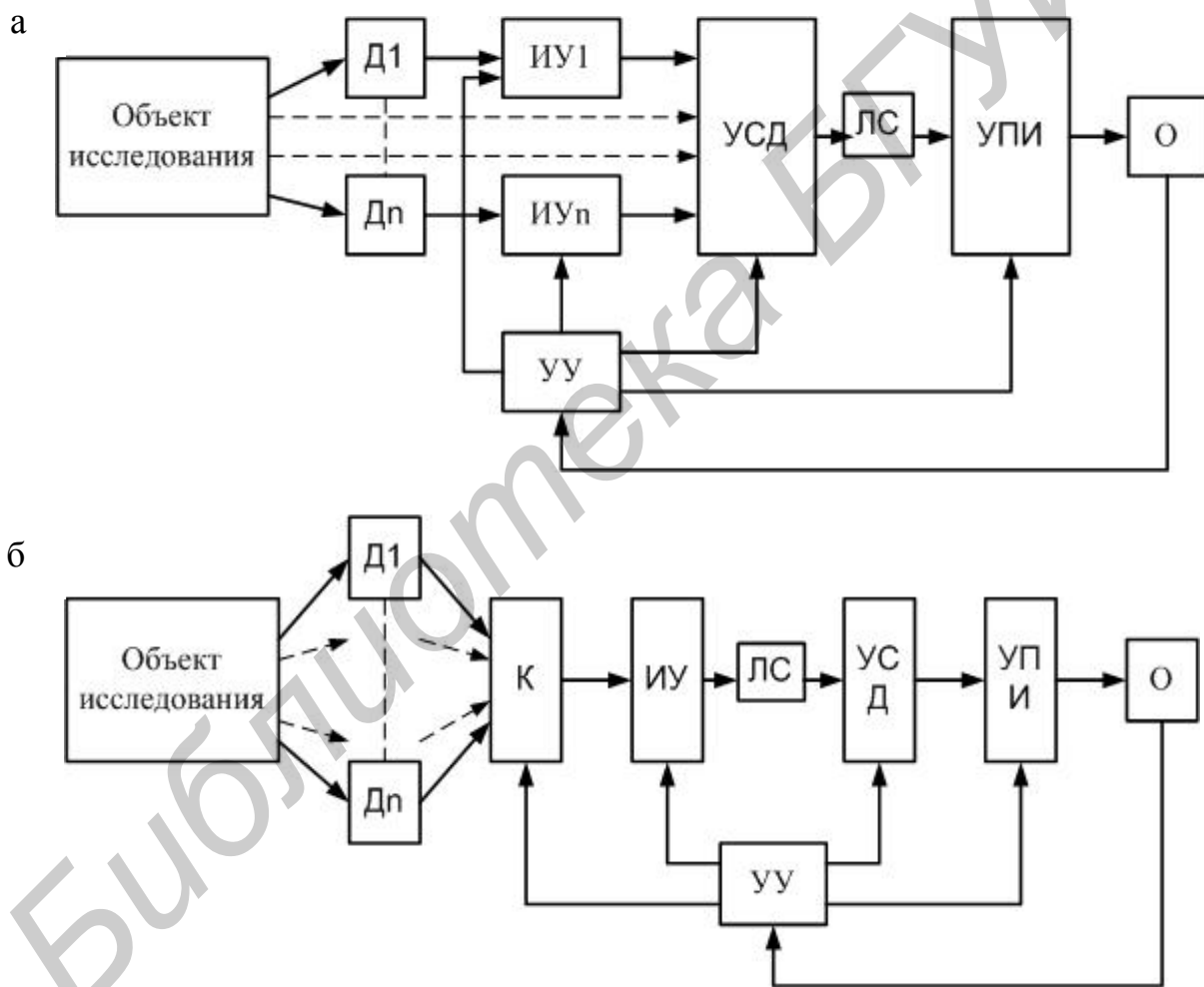


Рисунок 26 – Структурные схемы ИИС распределенного действия

Показанные на рисунках 25–27 условные обозначения блоков означают:

УСД – устройство сбора данных; ИУ – измерительное устройство; УО – устройство отображения; УУ – устройство управления; О – оператор; $Д_1 \dots Д_n$ – датчики; К – коммутатор; УПИ – устройство преобразования информации; Н – накопитель; ЛС – линия связи.

Для выполнения поставленных в ТЗ требований на ИИС необходимо выбрать одну из показанных на рисунках 25–27 структурных схем, дать развернутые пояснения о выборе типа и конструкции датчиков, физического принципа работы и привести их основные эксплуатационные характеристики.

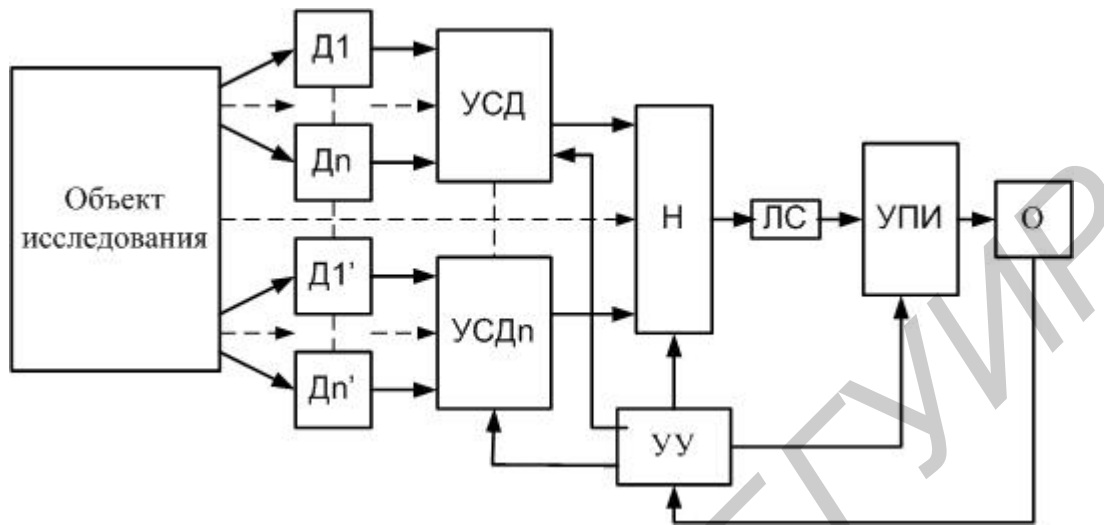


Рисунок 27 – Структурная схема ИИС для удаленного сбора данных

На основании обобщенной структурной схемы составить детализированную структурно-функциональную схему системы с указанием конкретных модулей, устройств, необходимых для выполнения конкретных операций по обработке измерительной информации и примененных интерфейсов [13, 14, 44–47].

Наглядным примером по построению ИИС для удаленного сбора данных и их последующей обработке являются автоматизированные системы контроля и учета энергоресурсов (АСКУЭ), в структуре которых в общем случае можно выделить четыре уровня, показанные на рисунке 28 [48–49].

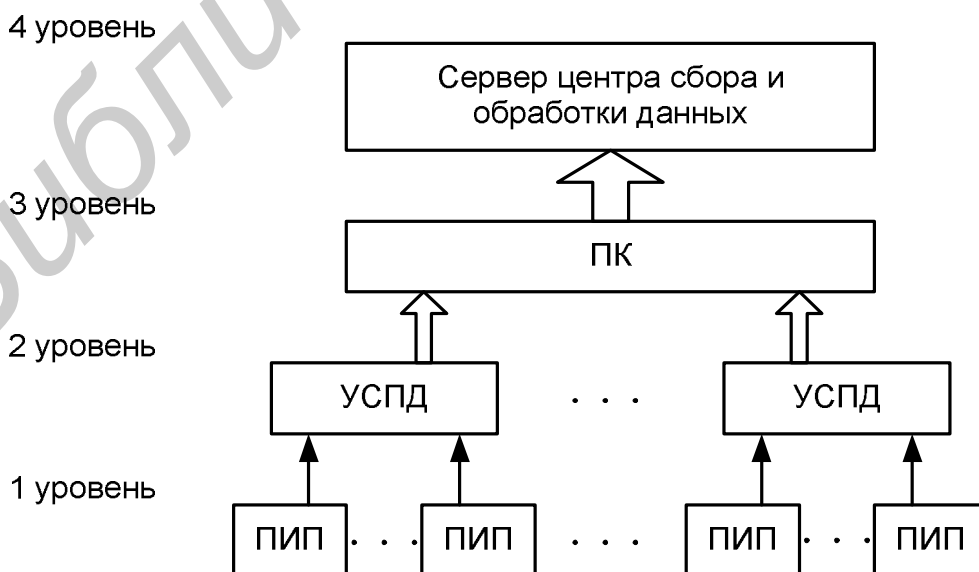


Рисунок 28 – Структурная схема системы контроля и учета энергоресурсов

Первый уровень – первичные измерительные приборы (ПИП) с телеметрическими или цифровыми выходами, осуществляющие непрерывно или с минимальным интервалом времени усреднения измерение параметров энергоучета потребителей (потребления электроэнергии, мощности, давления, температуры, количества энергоносителя, количества теплоты и т.д.) по точкам учета (фидер, труба и т.д.).

Второй уровень – устройства сбора и подготовки данных (УСПД), специализированные измерительные системы или многофункциональные программируемые преобразователи со встроенным программным обеспечением энергоучета, осуществляющие круглосуточный сбор измерительных данных с территориально распределенных ПИП, накопление, обработку и передачу этих данных на верхние уровни.

Третий уровень – персональный компьютер (ПК) или сервер центра сбора и обработки данных со специализированным программным обеспечением АСКУЭ, осуществляющий сбор информации с УСПД (или группы УСПД), итоговую обработку этой информации как по точкам учета, так и по их группам, документирование и отображение данных учета в виде, удобном для анализа и принятия решений оперативным персоналом и руководством предприятия.

Четвертый уровень – сервер центра сбора и обработки данных со специализированным программным обеспечением АСКУЭ, осуществляющий сбор информации с ПК или группы серверов центра сбора и обработки данных третьего уровня, документирование и отображение данных учета в виде, удобном для анализа и принятия решений, ведение договоров на поставку энергоресурсов и формирование платежных документов для расчетов за энергоресурсы.

Все уровни АСКУЭ связаны между собой каналами связи, в качестве которых применяются соединения по стандартным интерфейсам типа RS-485, RS-232 и т.д., а центры сбора данных 3-го и 4-го уровней могут быть соединены по выделенным, коммутируемым каналам связи или по локальной сети.

Построение АСКУЭ может осуществляться двумя способами: первый – прямым каналом связи с ПИП (рисунок 29, а) и второй – использование модемной связи с ПИП (рисунок 29, б).

Конкретным примером такой ИИС является система информационно-измерительная многоуровневого энергоконтроля СИМЭК-Ц, предназначенная для построения иерархических сетей учета и контроля электроэнергии, применяемая в метрополитене [50]. В качестве ПИП применяются электронные счетчики типа Ф 443А, Ф 443АР, Ц 6001, Ф 652, Ф 68 700, снабженные передающими устройствами (ПУ), и индукционные трехфазные счетчики активной и реактивной энергии по ГОСТ–6570, оснащенные устройствами формирования импульсов Е 440, Е 440.01, Е 870.

В качестве УСПД применяются модули типа Е 441М, Е 443, УСД-Э. В устройства обработки данных входят базовый модуль с источником питания и индикации, контроллер, модуль памяти, модуль адаптера печати, модуль

приемника уплотненной информации, модем 100 АС, адаптер связи, пульт диспетчера, принтер.

Количество ПИП, подключаемых к одному УСДП, – 16. Расстояние от ПИП до УСДП – 3 км, а от УСДП до ПК – 15 км. Общее количество каналов учета в системе равно 252. Система обеспечивает дифференцированный учет по зонам и сменам. Количество зон – четыре, дискрет – 30 мин. Количество смен – четыре, дискрет – 3 мин. Итоговая групповая информация передается в центральную систему верхнего уровня по телеграфным каналам через низкоскоростной модем. Система предназначена для непрерывной работы без ограничения времени.

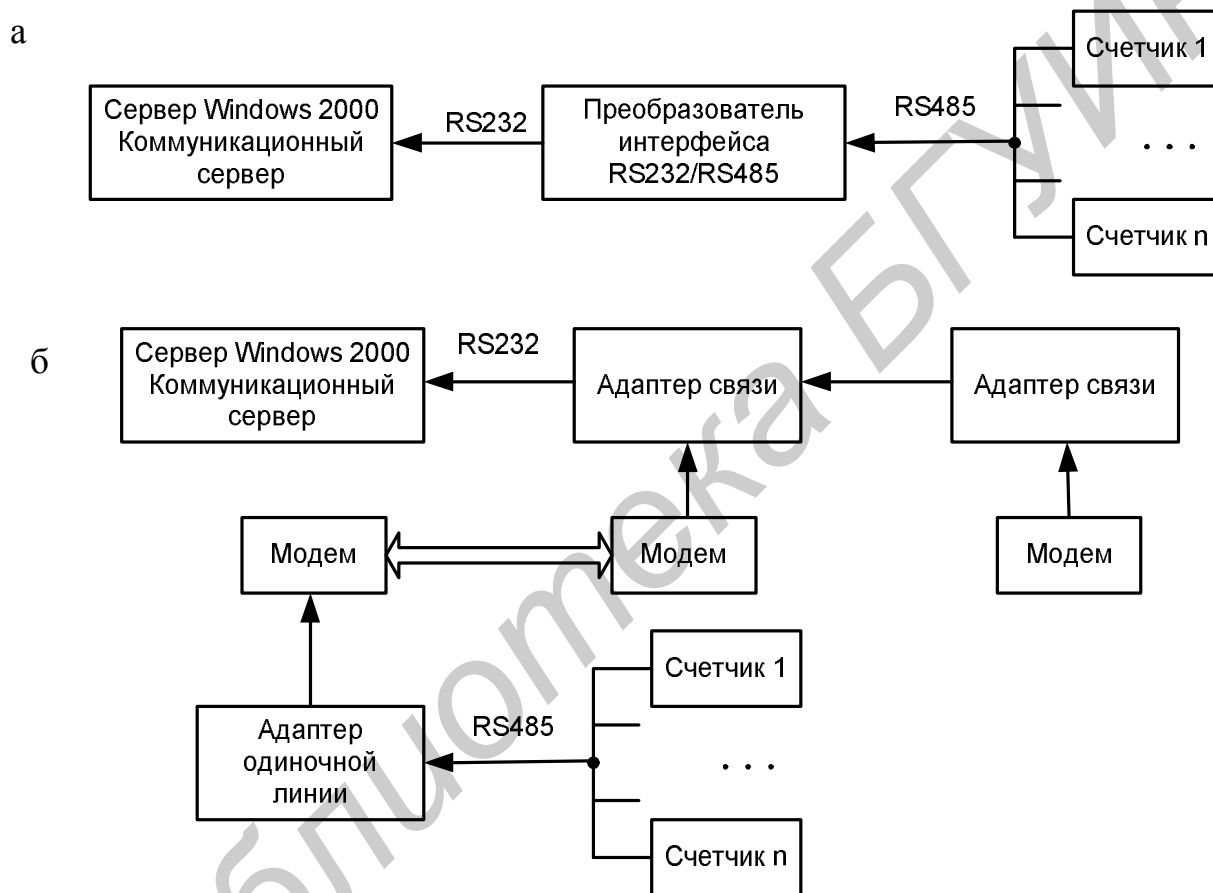


Рисунок 29 – Структурные схемы построения систем учета

Другой разновидностью распределенных ИИС являются различные системы охранной и пожарной сигнализации, которые позволяют контролировать на больших площадях безопасность предприятий, организаций и т.д. от проникновения нарушителей и возникновения пожаров. Обобщенная схема таких информационных систем (ИС) [51–54] показана на рисунке 30.

Входящие в ИС датчики предназначены для обнаружения проникновения нарушителя через витрины, оконные и другие проемы или возникновения в охраняемом помещении очага пожара на расстоянии от единиц до сотен метров (приложение А).

При срабатывании одного из датчиков $D_1 - D_n$, включенных последовательно и питаемых от одного источника питания, цепь разрывается и срабатывает соответствующее реле из $P_1 - P_n$, включенных последовательно с помощью шлейфа сигнализации с центральным пунктом, и появляется сигнал тревоги. Пульты и системы централизованного наблюдения предназначены для приема, обработки и воспроизведения информации с объектов охраны. Выдаваемая информация отображается в виде акустических и оптических сигналов, а при наличии счетно-запоминающих устройств регистрируется соответствующими приборами. В качестве линий связи в системах используются действующие абонентские линии (АЛ) городских или учреждений телефонных станций, переключаемых на период охраны с приборов АТС на аппаратуру системы (рисунок 31). Системы являются многоканальными системами телеуправления и телесигнализации с пространственно-временным разделением каналов. Контроль за объектом сводится к контролю тока в шлейфе абонентской линии и сигнальной цепи объекта. Короткое замыкание или обрыв шлейфа вызывает изменение тока, которое фиксируется селектором устройства трансляции (УТ), устанавливаемым в кроссе АТС и предназначенным для разделения трактов, приема сигналов с объектовых устройств (ОУ). Последние устанавливаются на объекте и предназначены для разделения трактов телефонной связи и телемеханики. С УТ информационный сигнал по выделенной линии (ВЛ) с АТС передается на центральный пульт (ЦП), который предназначен для управления УТ с целью переключения линий связи и приема извещений с индикацией на табло.

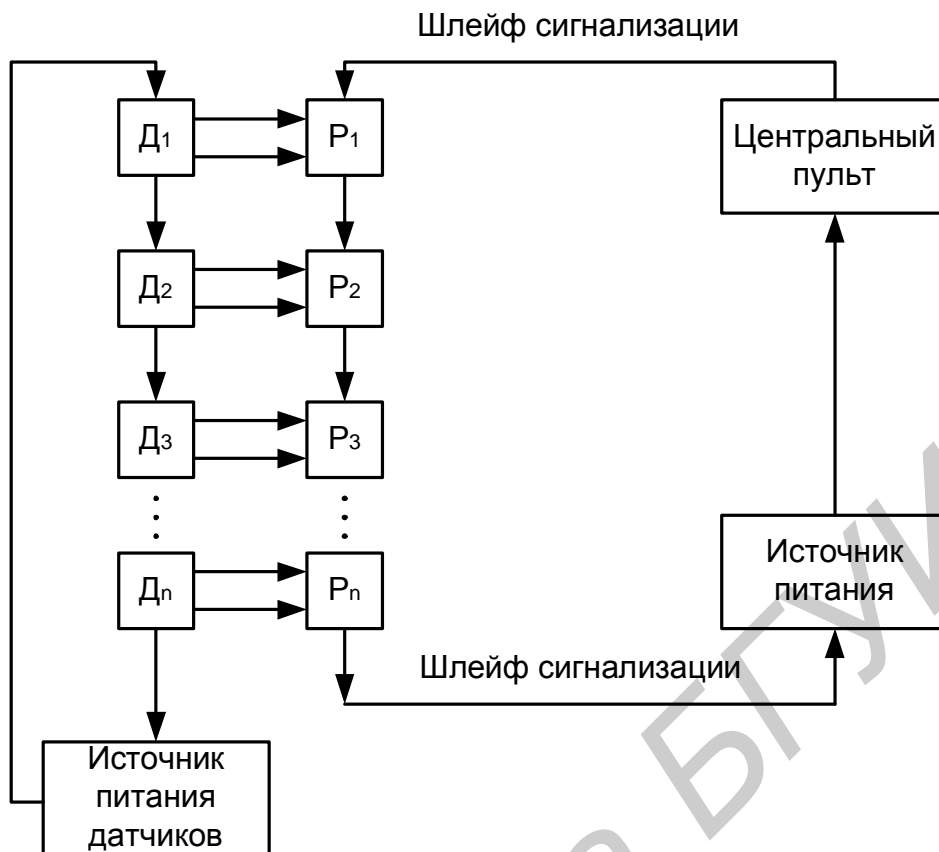


Рисунок 30 – Структурная схема охранной сигнализации

Наибольшее распространение получили следующие современные ЦП: Сирень-2М, Нева-10, Центр-К, Атлас-2М, Циклон, Стрела-М и др.

Характерным примером ИИС ближнего действия являются системы для автоматизации поверки средств электрических измерений (СЭИ) с использованием комплектов сменных блоков [24, 42]. Они расширяют номенклатуру поверяемых СЭИ как по измеряемым величинам, так и по техническим и метрологическим характеристикам. Автоматизация поверки СЭИ может быть проведена с использованием методов образцовых сигналов и образцовых приборов.

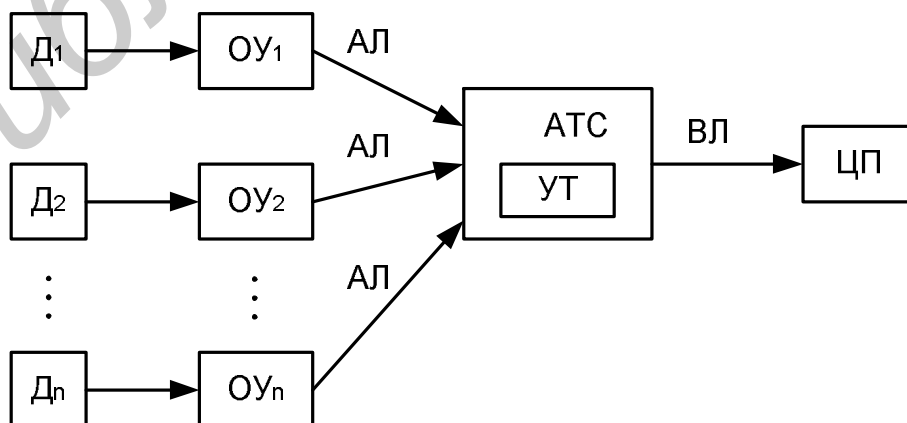


Рисунок 31 – Структурная схема связи через АТС

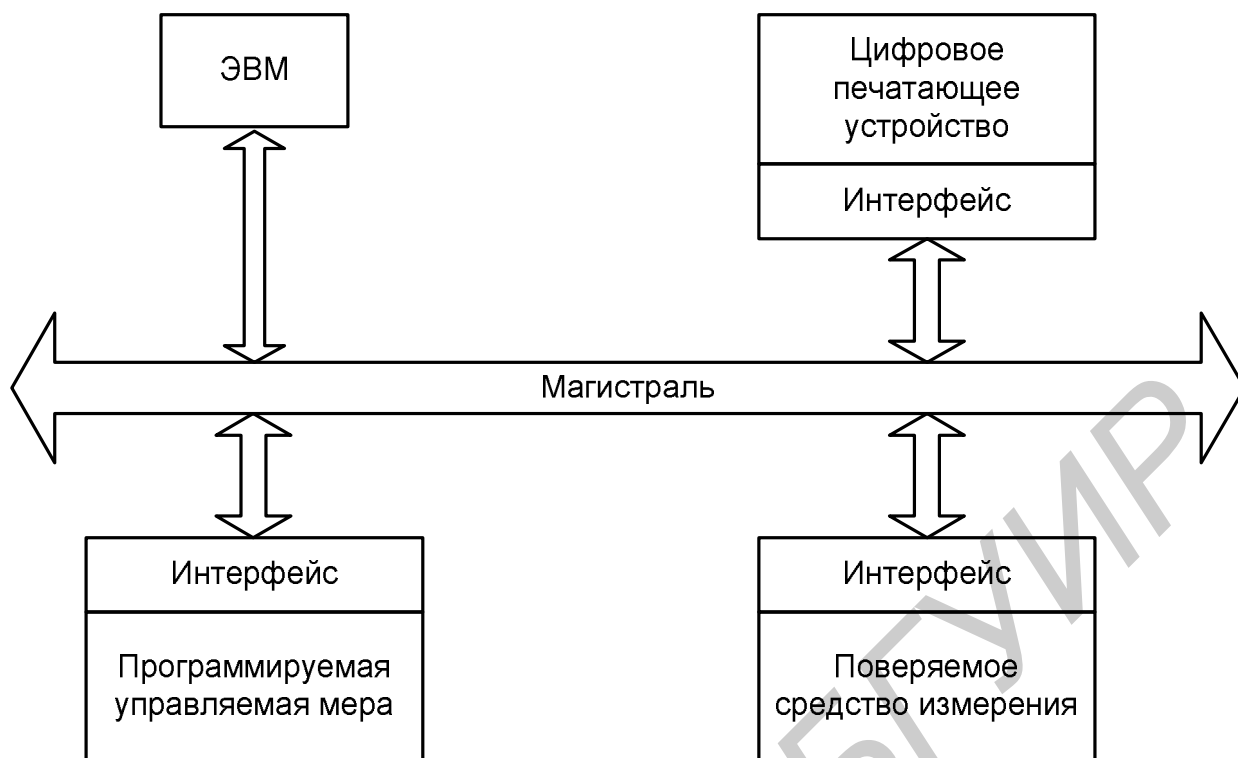


Рисунок 32 – Структурная схема автоматизированной измерительной системы с программно-управляемой мерой

В первом случае (рисунок 32) по определенной программе с запоминающего устройства (ЗУ) ЭВМ подается управляющий сигнал на программно-управляемую меру, с выхода которой на вход поверяемого СИ подается тестовый сигнал. С электрического выхода поверяемого СИ в виде цифрового кода сигнал реакции поступает в ЭВМ и по программе сравнивается с кодом тестового сигнала, производятся вычисление погрешности поверяемого СИ по определенному алгоритму и сравнение полученной погрешности с допускаемым значением.

В случае отсутствия программно-управляемой меры по сигналу от ЭВМ оператором производится ручная установка тестового сигнала от источника сигналов (рисунок 33). Контроль тестового сигнала производится по образцовому СИ. Сигнал реакции поверяемого СИ в виде кода поступает в ЭВМ для дальнейшей обработки, как и в первом случае.

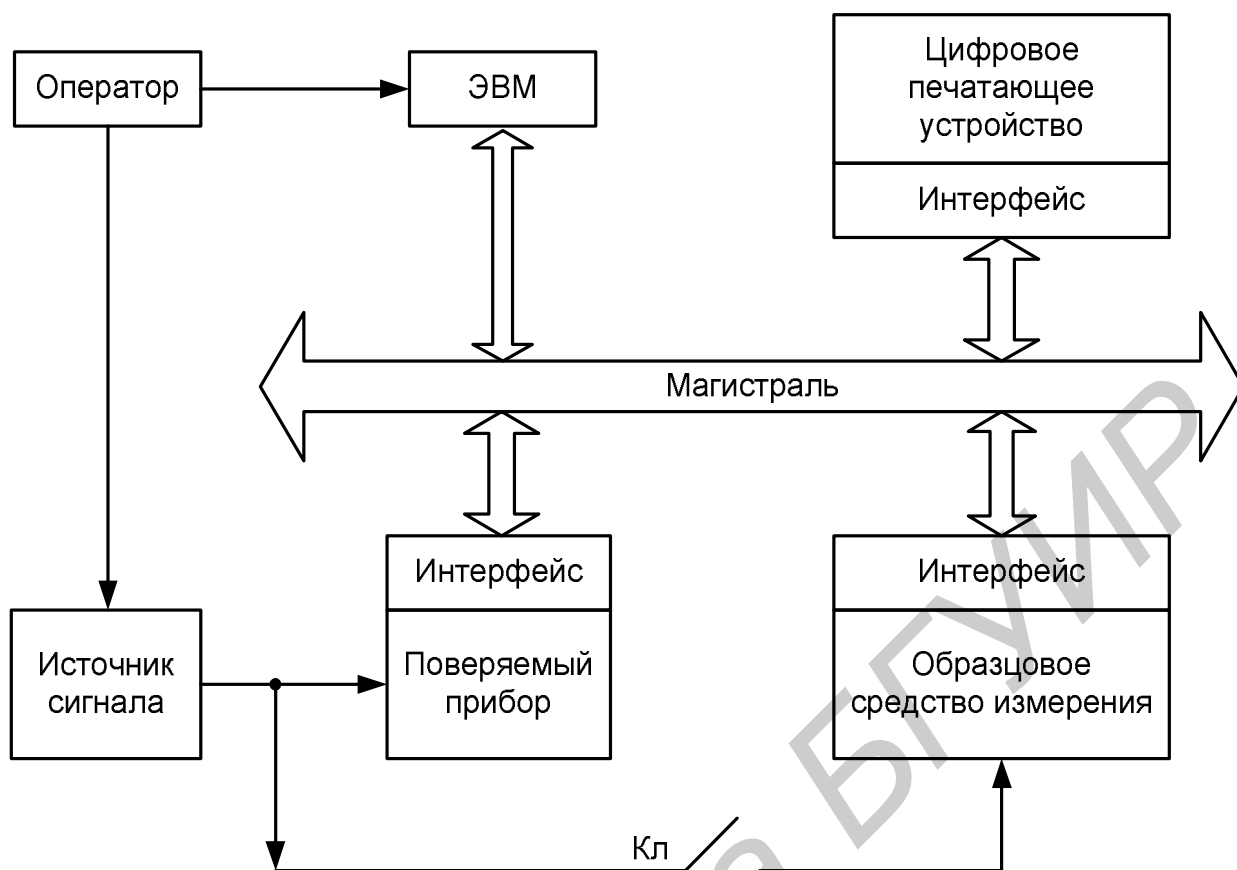


Рисунок 33 – Структурная схема автоматизированной измерительной системы с образцовым средством измерения

При методе образцового прибора на поверяемое СИ нет возможности подать тестовый сигнал (рисунок 34). В этом случае на вход поверяемого СИ подается либо сигнал, соответствующий установке указателя на поверяемую отметку шкалы, либо сигнал, регламентированный НТД для этих отметок. Сигнал подается одновременно на входы поверяемого и образцового СИ и устанавливается поверителем вручную. Информация для дальнейшей обработки на ЭВМ подается в виде кода с выхода образцового СИ.

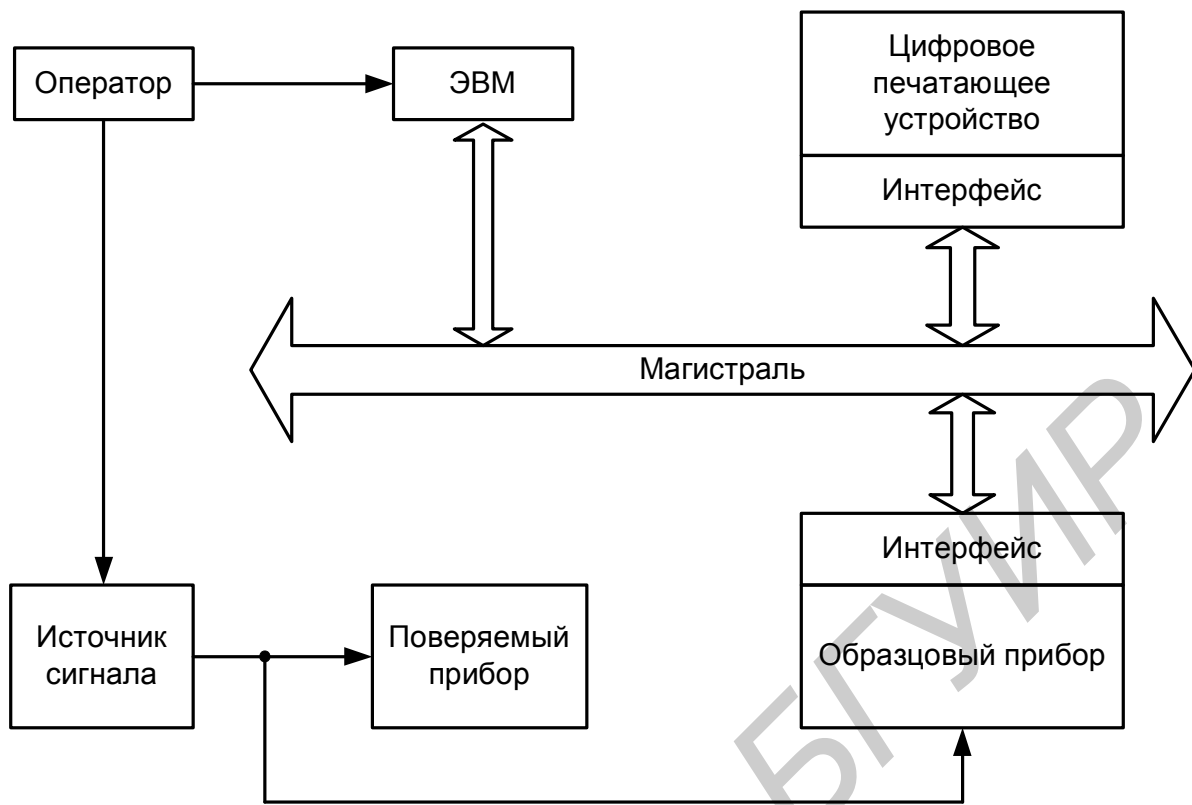


Рисунок 34 – Структурная схема автоматизированной измерительной системы с образцовым прибором

ЛИТЕРАТУРА

1 ГОСТ Р 8.596 – 2002. Системы измерительные. Метрологическое обеспечение. Основные положения. – М. : Изд-во стандартов, 2002.

2 МИ 2439 – 97. Метрологические характеристики измерительных систем. Номенклатура. Принципы реализации, определения и контроля. – М. : Изд-во стандартов, 1997.

3 МИ 2490 – 97. Методы экспериментального определения и контроля характеристик погрешности измерительных каналов, измерительных систем и измерительных комплексов. – М. : Изд-во стандартов, 1997.

4 Методические указания. Измерительные каналы информационно-измерительных систем. Организация и порядок проведения калибровки. РД 153 – 34.0 – 11.202 – 98. – М. : СПО ОРГРЭС, 2000.

5 Новопащенко, Г. Н. Информационно-измерительные системы: учеб. пособие / Г. Н. Новопащенко. – М. : Высш. шк., 1977.

6 Цапенко, М. П. Измерительные информационные системы : структуры и алгоритмы, системотехническое проектирование : учеб. пособие для вузов / М. П. Цапенко. – М. : Энергоатомиздат, 1985.

7 Метрологическое обеспечение и эксплуатация измерительной техники / Г. П. Богданов [и др.] ; под ред. В. А. Кузнецова. – М. : Радио и связь, 1990.

8 Цифровые измерительно-информационные системы, теория и практика / Под ред. А. Ф. Фомина, О. Н. Новоселова. – М. : Энергоиздат, 1996.

9 Карандеев, К. Б. Введение в техническую диагностику / К. Б. Карандеев [и др.] ; под общ. ред. К. Б. Карандеева. – М. : Энергия, 1968.

10 Кузнецов, П. И. Контроль и поиск неисправностей в сложных системах / П. И. Кузнецов, Л. А. Пислинцев, В. С. Гайденоко. – М. : Сов. радио, 1969.

11 Тищенко, Н. М. Введение в проектирование сложных систем автоматики / Н. М. Тищенко. – М. : Энергия, 1976.

12 Микроэлектронные устройства автоматики: учеб. пособие для вузов / А. А. Сазонов [и др.] ; под ред. А. А. Сазонова. – М. : Энергоатомиздат, 1991.

13 Краткий каталог продукции / Prosoft. Передовые технологии автоматизации, 2001.

14 Все необходимое для автоматизации / Prosoft. Передовые технологии автоматизации. Русск. издание, 2001.

15 Романычева, Э. Т. AutoCAD. Практическое руководство / Э. Т. Романычева, Т. Н. Сидорова, С. Ю. Сидоров. – М. : Радио и связь, 1997.

16 Разевич, В. Д. Система PСAD – 8.5. Руководство пользователя / В. Д. Разевич, С. М. Блохин. – М. : Знак, 1997.

17 Фролов, А. Д. Теоретические основы конструирования и надежности радиоэлектронной аппаратуры / А. Д. Фролов. – М. : Высш. шк., 1970.

18 Сотеков, Б. С. Основы теории расчета надежности элементов и устройств автоматики и вычислительной техники / Б. С. Сотеков. – М. : Высш. шк., 1970.

19 МИ 2002 – 89. Системы информационно-измерительные. Организация и порядок проведения метрологической аттестации. – М. : Изд-во стандартов, 1989.

20 МИ 2539 – 99. Измерительные каналы контроллеров, измерительно-вычислительных, управляющих, программно-технических комплексов. Методика поверки. – М. : Изд-во стандартов, 1999.

21 РД 153 – 34.0 – 11.205 – 98. Методические указания. Измерительные каналы информационно-измерительных систем. Организация и порядок проведения калибровки. – М. : СПО ОРГРЭС, 2000.

22 МИ 2002 – 89. Системы информационные измерительные. Организация и порядок проведения метрологической аттестации. – М. : Изд-во стандартов, 1989.

23 МИ 200 – 80. Методика контроля характеристик измерительных информационных систем встроенными средствами контроля. Основные положения. – М. : Изд-во стандартов, 1980.

24 Метрологическое обеспечение и эксплуатация измерительной техники / Г. П. Богданов [и др.]; под ред. В. А. Кузнецова. М. : Радио и связь, 1990.

25 Новицкий, П. В. Оценка погрешностей результатов измерений / П. В. Новицкий, И. А. Зограф. – Л. : Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1985.

26 Каверкин, И. Я. Анализ и синтез измерительных систем / И. Я. Каверкин, Э. И. Цветков. – Л. : Энергия, 1974.

27 Виноградов, В. И. Информационно-вычислительные системы. Распределенные модульные системы автоматизации / В. И. Виноградов. – М. : Энергоатомиздат, 1986.

28 Балтон, У. Карманный справочник инженера-метролога. – М. : Издательский дом «Додэка–XXI», 2002.

29 Адаменко, И. Учет сырья и готовой продукции / И. Адаменко, Е. Фоменко // Современные технологии автоматизации. – 2001. – № 4.

30 Галицкий, М. Автоматизированный комплекс для научных исследований / М. Галицкий [и др.] // Современные технологии автоматизации. – 2001. – № 4.

31 Рогожников, С. Система автоматического дозирования флотационных реагентов на обогатительной фабрике / С. Рогожников, В. Кинев // Современные технологии автоматизации. – 2001. – № 4.

32 Озерных, И. Комплекс контроля и управления научно-технологическими экспериментами в космосе / И. Озерных [и др.] // Современные технологии автоматизации. – 2001. – № 4.

33 Гуртовцев, А. Измерение давления в автоматизированных системах / А. Гуртовцев // Современные технологии автоматизации. – 2001. – № 4.

34 Хронусов, Г. АС контроля и учета основных показателей режимов электропотребления промышленных предприятий / Г. Хронусов, А. Кошта, А. Распутин // Современные технологии автоматизации. – 1998. – № 1.

35 Перепечаенко, В. Автоматизированная система контроля температур в силосах элеваторов на базе модулей ADAM-4000 / В. Перепечаенко, В. Майнов, Н. Михалев // Современные технологии автоматизации. – 1998. – № 1.

36 Аленкович, Г. Портативный геолокатор для подземных исследований / Г. Аленкович, Б. Левитас, А. Минин // Современные технологии автоматизации. – 1996. – № 1.

37 Павлов, Н. Модернизация автоматизированной системы диспетчерского контроля и управления городской электросетью / Н. Павлов, А. Зацепин, М. Ананских // Современные технологии автоматизации. – 2003. – № 1.

38 Намазбаев, Т. Измерительно-вычислительный комплекс для определения натяжения полосы проката / Т. Намазбаев [и др.] // Современные технологии автоматизации. – 2003. – № 1.

39 Бирульчик, В. Переносной радиометрический измеритель для определения объемов нефтяных загрязнений водных акваторий / В. Бирульчик, А. Рынин, М. Советкин // Современные технологии автоматизации. – 2003. – № 2.

40 Панферов, М. М. Тензорезисторные измерительные системы / М. М. Панферов, А. А. Цыбин, Л. М. Кузнецов // Приборы и системы управления. – 1985. – № 9.

41 Плиско, В. А. Автоматизация в метрологическом обеспечении производства / В. А. Плиско, А. В. Архипов, Н. И. Райх. – М. : Изд-во стандартов, 1988.

42 Основы автоматизации измерений : учеб. пособие / В. Б. Коркин [и др.]. – М. : Изд-во стандартов, 1991.

43 Каверкин, И. Я. Анализ и синтез измерительных систем / И. Я. Каверкин, Э. И. Цветков. – Л. : Энергия, 1984.

44 Современные технологии автоматизации. – 2001. – № 4.

45 Заикин, О. Светодиодные табло / О. Заикин // Современные технологии автоматизации. – 1996. – № 1.

46 Жданкин, В. Вторичные источники электропитания фирмы INTERPOINT / В. Жданкин // Современные технологии автоматизации. – 1997. – № 4.

47 Семенов, С. Дисплеи I-SFT: основные характеристики и особенности подключения / С. Семенов, А. Сергеев // Современные технологии автоматизации. – 2003. – № 1.

48 Гуртовцев, А. Л. Современные принципы автоматизации энергоучета в энергосистемах / А. Л. Гуртовцев // Автоматизация от А до Я. – 2001. – Ноябрь – декабрь.

49 Гуртовцев, А. Л. Автоматизация управления энергопотреблением / А. Л. Гуртовцев, М. Ю. Безносова // Промышленная энергетика. – 1998. – № 10.

50 ТО к СИМЭК – 252.

51 Шрайтер, Г. Инфракрасные лучи в электронике / Г. Шрайтер. – М. : ДМК, 2001.

52 Рудак, В. Н. Охранные системы как средство защиты / В. Н. Рудак. – Минск : Выш. шк., 2002.

53 Каштанов, А. В. Телесистемы / А. В. Каштанов. – Минск : Выш. шк., 1999.

54 Магиуенов, Р. Системы охранной сигнализации. Основы теории и принципы построения : учеб. пособие. / Р. Магиуенов. – М. : Горячая линия – Тел., 2004.

55 Электрические измерения неэлектрических величин / под ред. П. В. Новицкого. – 5-е изд., перераб. – Л. : Энергия, 1975.

56 Малов, В. В. Пьезоэлектрические датчики. / В. В. Малов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1989.

57 Раннев, Г. Г. Методы и средства измерений : учебник для вузов / Г. Г. Раннев, А. П. Тарасенко. – 2-е изд., стереотип. – М. : Изд. центр «Академия», 2004.

58 Информационно-измерительная техника и технологии / В. И. Калашников, С. Ф. Нефедов, А. Б. Путилин и др.; под ред. Г. Г. Раннева. – М. : Выш. шк., 2002.

59 Заико, А. И. Точность аналоговых линейных измерительных каналов ИИС / А. И. Заико. – М. : Изд-во стандартов, 1987.

Библиотека БГУИР

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Первичные преобразователи

Таблица А.1 – Терморезисторы (термометры сопротивления) [55]

Тип	Диапазон температур, °С	Класс точности	Определение погрешности (в кельвинах)	Сопротивления при 0 °С, Ом
ТСП	-200...0 0...+650	I	$\pm (0,15+3,0 \cdot 10^{-3} \theta)$ $\pm (0,15+4,5 \cdot 10^{-3} \theta)$	Гр. 20 – 10 Гр. 21 – 46 Гр. 22 – 100
		II	$\pm (0,30+4,5 \cdot 10^{-3} \theta)$ $\pm (0,30+6,0 \cdot 10^{-3} \theta)$	Гр. 21 – 46 Гр. 22 – 100
ТСМ	-50...+180	I	$\pm (0,30+3,5 \cdot 10^{-3} \theta)$	Гр. 23 – 53 Гр. 24 – 100
		II	$\pm (0,30+6,0 \cdot 10^{-3} \theta)$	Гр. 23 – 53 Гр. 24 – 100

Примечание. Гр. – градуировочные таблицы для ТСП и ТСМ, характеризующие изменения термосопротивления от температуры [55], с. 35.

Схема подключения термометра сопротивления – 2-, 3- или 4-проводная [55].

Таблица А.2 – Полупроводниковые терморезисторы [55]

Тип	Диапазон рабочих температур, °С	Сопротивление, кОм	Постоянная времени, С	Погрешность Δ , %
КМТ – 1	-60...+180	22 – 1 000	85	0,01 К
СТИ – 2	-60...+125	2,1 – 3,0	–	
КМТ – 11	0...+125	100 – 3 300	10	
СТ1 – 18	-60...+300	1,5...2 200	1	
СТЗ – 25	-100...+125	3,3...4,5	0,4	

Таблица А.3 – Пьезорезонансные акселерометры [56]

Тип	Диапазон измеряемого давления, кПа	Коэффициент преобразования, Гц/кПа	Средняя квадратическая ошибка (СКО), Па	Погрешность измерения, %	f_0 , кГц
ЭПК–А	0,1...100	55	26	0,1	10
ЭПК–Б	0,1...250	36	45	0,1	10
ЭПК–В	0,1...250	50	80	0,1	10

Таблица А.4 – Пьезодатчики давления [56]

Тип	Диапазон, н/с ²	Крутизна преобразования, Гц/кПа	Номинальная частота f_0 , кГц	Напряжение питания, В	Ток нагрузки, мА	Погрешность измерения, %
QA030DA	±30	167	10	1,5	3,5	0,2
QA100DA	±100	50	10	1,5	3,5	0,2
QA102NA	±10 000	0,5	10	1,5	3,5	0,2

Таблица А.5 – Пьезорезонансные измерители влажности (гигрометры) [56]

Наименование, характеристики	Тип		
	Волна-1М	Волна-2М	Волна-5
Анализирующая среда	Воздух, инертные газы	Воздух, инертные газы	Воздух, инертные газы
Диапазон измерений (% относительно величины), гПа	0...100	0...100	0...100
Постоянная времени, мин	2	2	0,25
Время установления выходного сигнала, с	16	16	2,5
Температура анализируемой среды, °С	0...60	0...60	0...60
Температура окружающей среды, °С	5...50	5...50	5...50
Начальная частота f_0 , МГц	5	5	9

Таблица А.6 – Кварцевые термометры [56]

Тип	Диапазон температур, °С	Номинальная частота, кГц *
РТ-01	-60...+120	14 310
РЦ 2	-60...+120	5 000
РК-317ТВА	-60...+125	7 040
Хьюлетт-паккард, США	-80...+125	28 000
Токио, Денпа, Япония	-50...+100	10 600

* Номинальная частота кварцевого термометра определяется частотой автогенераторного преобразователя [56], на аналоговом выходе которого должен быть ток 4...20 мА с амплитудой ± 10...100 мВ.

Таблица А.7 – Пьезорезонансные тензодатчики [56]

Тип	Номинальная частота f_0 , МГц	Добротность Q, тыс.	Коэффициент силовой чувствительности K_F , Гц/г	Механическая нагрузка F_{max} , Н
РС – 01	10	50	1,2	70
ЭПК –А	10	80	1,7	50
ЭПК – Г	5	10^3	0,05	2 000

Таблица А.8 – Тензодатчики веса [44]

Параметры	Модель				
	BE	AG	AB	F 60X	CA 40X
Диапазон измерения, (ДИ), кг	1; 3; 5; 10	1; 2,5; 5; 10; 15; 20; 30; 50; 75; 100	50; 75; 100; 150; 200; 250; 300; 500	5; 10; 50; 100; 200; 300; 500; 1 000; 2 000; 5 000	5 Т, 10 Т, 20 Т, 40 Т, 60 Т, 100 Т, 200 Т
Минимальный измеряемый вес, г	1, 3, 5, 10	0,2; 0,5; 1; 2; 3; 4; 6; 10; 15	(1/5 000) ДИ	1,5; 2; 4; 10; 20; 40; 60; 100; 200; 600...1 000	(1/10 000) ДИ
Погрешность измерения, %	0,05	0,017	0,01	0,033	0,017
Напряжение питания, В	5...10	10...15	10...15	10	10
Выходное сопротивление, Ом	350 ± 25	350 ± 5	350 ± 5	350	700 ± 5
Чувствительность, мВ/В	1,35	$2 \pm 10 \%$	$2 \pm 10 \%$	$2 \pm 1 \%$	$2 \pm 0,1 \%$

Таблица А.9 – Термопары [55]

Параметры	Модель			
	ТПП	ТПР	ТХА	ТХК
Предел измерения температуры, °С	-20...1 300	300...1 600	-50...1 000	-50...600
Выходное сопротивление, Ом	5	5	5	5
Выходное напряжение, мВ	0...13,3	4,9...11,5	-1,86...41,26	-3,11...49,02
Погрешность термо-ЭДС, мВ	0,01	0,01	0,16	0,20

Таблица А.10 – Обозначение термопар по ANSI

Обозначение	Тип по ГОСТ Р50431–92	Максимальная погрешность, %	Максимальная температура, °С	Выходное напряжение при 100 °С, мВ
J	–	0,75	760	5,268
K	ТХА	0,75	1 370	4,095
T	–	1,5	400	4,277
E	–	1	1 000	6,317
N	–	2	–	–
R	–	0,25	1 750	0,647
S	ТПП	0,25	1 750	0,645
B	ТПР	0,5	1 800	0,033
L	ТХК		900	–
C	ТВР	1	–	–

Таблица А.11 – Тензодатчики давления [44]

	МТ-100	Сапфир-22МП	Simens SLTRASP Серия Z
Верхний предел измерения	16 – 100 МПа	0,16 КПа ...100 МПа	1...400 бар
Предел основной погрешности, %	±0,25	±0,25	±0,25
Выходной ток, мА	4 – 20 мА	0...5 мА 4-проводная линия	4...20 мА
Напряжение питания, В	15 – 20	36	10...36
Назначение	ДИ, ДВ, ДИВ	ДИ, ДА, ДВ, ДИВ	ДА, ДИ
<p>Примечания:</p> <p>1 ДИ – давление избыточное относительно атмосферного давления (барометрического – ДБ).</p> <p>2 ДА – давление абсолютное, равное $8 \text{ ДА} = \text{ДБ} + \text{ДИ}$.</p> <p>3 ДВ – давление вакуумметрическое, равное $\text{ДВ} = \text{ДБ} - \text{ДА}$.</p> <p>4 $1 \text{ ат} = 0,98 \text{ бар} = 735 \text{ мм рт. ст.} = 98 \text{ кПа} = 0,98 \cdot 10^5 \text{ Па} = 0,098 \text{ МПа} = 0,97 \text{ атм}$, где 1 атм – техническая атмосфера; 1 атм – физическая атмосфера.</p>			

Таблица А.12 – Ультразвуковой расходомер [14]

Модель	Аналоговый выход, мА	Точность измерения, %
SITRANS F	4 – 20	± 0,1

Таблица А.13 – Радарный расходомер [14]

Модель	Диапазон измерения, м	Аналоговый выход, мА	Точность измерения, %
SITRANS LR	≤45	4...20	± 0,1 от измеряемого значения

Таблица А.14 – Датчики фотоэлектрические с прерыванием луча [13]

Модель	Диапазон срабатывания с прерыванием луча	Тип излучения	Напряжение питания постоянное, В	Прямого срабатывания, мм
КТ 9	0...250 мм	Инфракрасное λ=800 нм	10...30	0...50
КТ 10	0...500 мм	Инфракрасное λ=800 нм	10...30	0,5...8
КТ 11	0...250 мм	Инфракрасное λ=800 нм	10...30	0...50
GLV 12, 18 GH	0...5 м	Инфракрасное λ=880...660 нм	10...30	0...100
VL 18	0...15 м	Инфракрасное λ=880...660 нм	10...30	10...75

Таблица А.15 – Ультразвуковые датчики для бесконтактного определения местоположения объекта (эхолокация) [14]

Параметры	Тип	
	LUCYT	F 43
Диапазон измерений	0,3 – 4 м	0 – 300 мм
Аналоговый выход, мА	4 – 20	4 – 20

Таблица А.16 – Пьезодатчики для измерения уровня жидкости [14]

Параметры	Тип
	Vibracon
Длина трубы, мм	200 – 3000
Схема включения	3-, 4-проводная
Температура среды	От –40 до +150
Давление	40 бар
Плотность измеряемой жидкости	0,6 г/см ³
Вязкость	Не более 10 000 мПа/с

Таблица А.17 – Датчики для пожарно-охранных систем [51, 52]

Характеристика	Квант-1	Квант-2У	Вектор-2	Вектор-4	Вектор-4
Длина блокируемого участка, м	30 – 50	20 – 50	100 – 20	0,5 – 10	150
Длительность сигнала тревоги, с, не менее	2	2	2	2	2
Напряжение питания, В	220	220	12	12	12
Потребляемый ток от источника постоянного тока блоком излучателя, мА	111	400	–	25	25

Таблица А.18 – Счетчики электрической энергии [55]

Параметр		Тип		
		Однофазный	Трехфазный	
			Ф 440	Ф 650
Ток, А		5	1,5	0,5
Напряжение, В		220	100	100
Коэффициент мощности		0,5 – 1,0	0,5 – 1,0	0,5 – 1,0
Диапазон входных частот, Гц		45 – 60	45 – 60	45 – 60
Входное сопротивление	Цепи тока, Ом	0,1	0,2 – 0,04	0,2 – 0,04
	Цепи напряжения, МОм	2 – 10 ⁻³		
Основная погрешность, %		2,0	0,5	0,5
Время преобразования, с		–	–	–

Таблица А.19 – Цифровые термометры [55]

Тип прибора	Диапазон температур, °С	Основная погрешность, %
Ф 206-1	-200...+50	0,4
Ф 206-1/02	-100...+100	0,4
Ф 206-1/05	0...200	0,4
Ф 206-1/08	0...650	0,4
Ф 226	-50...+2 500	0,1

Таблица А.20 – Измерители веса [55]

Тип, страна	Предел взвешивания, кг	Класс точности, %	Время измерения, с
Весы-дозаторы, 6 ДК-10; 10 ДК-2 500, СНГ	10...2 500	0,1 (0,5)	3 (300)
Цифровые весы, ФРГ	200 – 5 000	0,1	15 – 150
Цифровые весы, Япония	0,05 – 5	0,1	1
Весы ДПЧ-3, СНГ	0,04 – 3	0,1	1,5

Библиотека БГУИР

Типовые платы для сбора и обработки сигналов

Таблица Б.1 – Типовые измерительные преобразователи для нормализации аналоговых сигналов [13, 14]

Модуль	Входной сигнал	Полоса пропускания	Основная погрешность $\Delta_{пр}$, %	Входное сопротивление, МОм	Выходное сопротивление, Ом	Выходное напряжение	Выходной ток, мА	Количество сигналов	Входное напряжение	Входной ток, мА
АДАМ-3011	Термопары	4 Гц	$\pm 0,1$	2	0,5	0...10 В		1		
АДАМ-3013	Термопары сопротивления	4 Гц	$\pm 0,1$	2	≤ 5	0...10 В 0...5 В	0...20	1		
АДАМ-3014	Ввод-вывод аналогового сигнала	2,4 кГц	$\pm 0,1$	2	250	0...10 мВ 0...50 мВ	0...20	1		
АДАМ-3016	Тензодатчики	2,4 кГц	$\pm 0,1$	2	50	0...10 В; ± 5 В; ± 10 В; ...10 В	0...20	1		

Таблица Б.2 – Типовые измерительные преобразователи для удаленных систем сбора данных [13, 14]

Модуль	Входной сигнал	Полоса пропускания	Основная погрешность $\Delta_{пр}$, %	Входное сопротивление, МОм	Выходное сопротивление, Ом	Выходное напряжение	Выходной ток, мА	Количество сигналов	Входное напряжение	Входной ток, мА
АДАМ-4013	Термометр сопротивления	2,62 Гц	$\pm 0,05$	2		0...10 В	30	1		± 20
АДАМ-4015	- « »-	262 Гц	$\pm 0,05$	10				6		
АДАМ-4016	Тензодатчики	2,62 Гц	$\pm 0,05$	2				1	± 25 мВ... ± 500 мВ	
АДАМ-4017	Аналоговый	2,62 Гц	$\pm 0,1$	20				8	± 150 мВ... ± 10 В	
АДАМ-4018	Термопары	13,1 Гц	$\pm 0,1$	20				8	± 15 мВ... $\pm 2,5$ В	
АДАМ-4019, АДАМ-4021	Аналоговый Термопары	13,1 Гц	$\pm 0,1$	20				8	± 100 мВ... ± 10 В	
АДАМ-4080	Частотно-импульсный	5 Гц... 50 кГц	$\pm 0,1$					≤ 30 В		

Таблица Б.3 – Типовые платы сбора данных для обработки сигналов [13, 14]

Платы	Кол-во	Входной	Коэффициент	Сканирование	Частота	Число	Аналоговый
-------	--------	---------	-------------	--------------	---------	-------	------------

	вх. и вых. сигналов	сигнал	усиления	каналов	сканирования	дискретных выходов	выход, В
PCI-1710/ 1710 HG	16/2	Аналоговый	x1, x2, x4, x8, x1 000	Автоматическое	100 кГц	16/16	0±5; 0±10
PCI-1711/1731	16/2	Аналоговый	x1, x2, x4, x8, x16	Автоматическое	100 кГц	16/16	0...5; 0...10
PCI-1712	16/2	Аналоговый	x1, x2, x4, x8	Автоматическое	1 МГц	16/16	0...5; 0...10; ±5; ±10

Таблица Б.4 – Типовые платы сбора данных для обработки цифровых сигналов [13, 14]

Плата	Количество входных каналов	Количество выходных каналов	Уровень входного логического «0»	Уровень входной логической «1»	Уровень выходного логического «0»	Уровень выходной логической «1»	Ток нагрузки, мА
PCI-1751	48	48	≤0,8 В	2,5...25 В	≤0,4 В	≥2,4 В	15
PCI-1753/ 1753 E	96/192	96/192	≤0,8 В	≥2 В	≤0,44 В	≥3,76 В	24
PCI-1752	1	64	–	–	–	5...40 В	≤200
PCI-1754	64	1	≤3 В	10...50 В	–	–	–
PCI-1756	32	32	≤3 В	10...50 В	–	5...40 В	≤200
PCL-731	48	48	≤0,4 В	≥2,4 В	≤0,4 В	≥2,4 В	–
PCL-724	24	24	≤0,4 В	≥2,4 В	≤0,4 В	≥2,4 В	–
PCL-722	144	144	≤0,4 В	≥2,4 В	≤0,4 В	≥2,4 В	–
PCL-720	32	32	≤0,8 В	≥2 В	≤0,5 В	≥2 В	–
PCL-812 PG	16 аналоговых (дискретных)	16 аналоговых (дискретных)					

Типовые модули для ввода–вывода дискретных сигналов

Таблица В.1 – Типовые модули для удаленных систем [13, 14]

Модуль	Количество входных каналов	Количество выходных каналов	Уровень логического «0», В	Уровень логической «1», В	Сопротивление нагрузки на входе, кОм	Ток нагрузки, мА
АДАМ-4050	7	8	≤ 1	3,5...30	10	≤ 30
АДАМ-4052	8	–	≤ 1	3,5...30	3	–
АДАМ-4053	16	–	≤ 2	4...30	–	–

Таблица В.2 – Типовые модули для распределенных систем [13, 14]

Модуль	Количество входных каналов	Количество выходных каналов	Уровень логического «0», В	Уровень логической «1», В	Сопротивление нагрузки на входе, кОм	Ток нагрузки, мА
АДАМ-5050	16	16	≤ 2	4...30	–	≤ 100
АДАМ-5051	16	1	≤ 1	3,5...30	–	–
АДАМ-5052	8	1	≤ 1	3,5...30	3	–
АДАМ-5056	1	16	–	–	–	≤ 100

Типовые платы релейных коммутаторов

Таблица Г.1 – Типовые платы релейных коммутаторов для обработки аналоговых и дискретных сигналов [13, 14]

Плата, модель	Количество входных каналов	Количество выходных каналов	Максимальное входное напряжение, В	Напряжение коммутации, В	Ток коммутации, А	Сопротивление замкнутых контактов, МОм
PCLD-788	Аналоговых: 16 с расширением до 256	1	≤100	10	0,01	≤200
PCLD-789 (с усилителем-нормализатором)	Аналоговых: 16 с расширением до 128	1	–	–	–	–
PCLO-785	16/24	16/24	–	–	–	≤100
АДАМ-5060/5068	6/8	6/8	125		0,6	≤1 000
PCL-735	Дискретных: 1	12	–	~125 100	0,6	≤1 000
PCL-725	8	8	–	~120 30	0,5	≤100

Типовые платы АЦП и ЦАП

Таблица Д.1 – Типовые платы АЦП [13, 14]

Модель	Шина	Количество входных каналов	Количество выходных каналов	Частота выборки, кГц	Входной сигнал (однополярный), В	Входной сигнал (двухполярный), В	Скорость вывода данных, кГц	Коэффициент усиления	Предел основной погрешности и $\Delta_{\text{АЦП}}$, %
PCI-1713	PCI	32/16	1	100	0...10; 0...5; 0...0,25; 0...0,125	± 10 ; 5; 2,5; 1,25; 0,625	200 (аналоговых)	$\times 0,5$; $\times 1$; $\times 2$; $\times 4$; $\times 8$	0,01 0,02 0,04
PCL-818	ISA	16/8	1	100	0...10; 0...5; 0...0,25; 0...0,125	± 10 ; 5; 2,5; 1,25; 0,625	100	$\times 0,5$; $\times 1$; $\times 2$; $\times 4$; $\times 8$	0,01 0,02 0,04
PCL-816	ISA	16	16 (дискретных) 2 (аналоговых)	100	0...10; 0...5; 0...0,25; 0...0,125	± 10 ; 5; 2,5; 1,25	100	$\times 2$; $\times 4$; $\times 8$	0,003
PCL-1800	ISA	16/8	16 (дискретных)	330	0...10; 0...5; 0...0,25; 0...0,125	± 10 ; 5; 2,5; 1,25; 0,625	200	–	0,01
PCL-813B	ISA	32	1	–	0...10; 0...5; 0...0,25; 0...0,125	± 5 ; 2,5; 1,25; 0,625	25	–	0,01

Таблица Д.2 – Типовые платы ЦАП [13, 14]

Модель	Шина	Количество входных каналов	Количество выходных каналов	Входящее напряжение, В	Выходное напряжение (аналоговое), В	Выходной ток, мА	Выходное сопротивление, Ом	Основная погрешность, $\Delta_{\text{цАП}}$, %	Скорость передачи данных
PCI-1721	PCI	16	4 аналоговых 16 дискретных	«0» $-\leq 0,8$ «1» $-\geq +2$	$\pm 10; \pm 5;$ $0 \dots \pm 5;$ $0 \dots \pm 10$	± 10	0,1	–	5 МГц
PCI-1720	PCI	1	4 аналоговых	«0» $-\leq 0,8$ «1» $-\geq +2,4$	$\pm 10; \pm 5;$ $0 \dots \pm 5;$ $0 \dots \pm 10$	± 5	–	0,024	–
PCL-726	ISA	16	6 аналоговых 16 дискретных	«0» $-\leq 0,8$ «1» $-\geq +2,4$	$\pm 10; \pm 5;$ $0 \dots \pm 5;$ $0 \dots \pm 10$	± 5	–	0,012	15 кГц
PCL-727	ISA	16	12 аналоговых 16 дискретных	«0» $-\leq 0,8$ «1» $-\geq +2,4$	$\pm 10; \pm 5;$ $0 \dots \pm 5;$ $0 \dots \pm 10$	± 5	–	0,012	15 кГц
PCL-728	ISA	1	2 аналоговых	«0» $-\leq 0,8$ «1» $-\geq +2,4$	$\pm 10; \pm 5;$ $0 \dots \pm 5;$ $0 \dots \pm 10$	± 5	–	0,012	17 кГц

Библиотека БГУИР

Учебное издание

Басов Владимир Георгиевич

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Учебно-методическое пособие
для студентов специальности
«Метрологическое обеспечение информационных
систем и сетей»
дневной формы обучения

В 3-х частях
Часть 2

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Редактор С. Б. Саченко
Корректор Е. Н. Батурчик

Подписано в печать 20.03.2007.
Гарнитура «Таймс».
Уч.-изд. л. 4,9.

Формат 60x84 1/16.
Печать ризографическая.
Тираж 100 экз.

Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 4,76.
Заказ 18.

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».
ЛИ № 02330/0056964 от 01.01.2004. ЛП № 02330/0131666 от 30.04.2004.
220013, Минск, П. Бровки, 6