

Министерство высшего и среднего специального образования  
РСФСР

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени  
авиационный институт им. академика С.П.Королева

Кафедра "Автоматизированные системы управления"

Лаборатория автоматизированных систем научных  
исследований АН СССР

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС  
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК АСНИ И ИХ КОМПОНЕНТОВ  
И СЛУЧЕНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЮ АСНИ.  
ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ

Методические указания  
к лабораторному практикуму по курсу  
"Проектирование АСНИ"

Составитель  
Доцент ОРИЩЕНКО В.И.  
Рецензент  
Доцент КОРАБЛИН М.А.

Куйбышев - 1986

В методических указаниях дается описание автоматизированного комплекса для проведения лабораторного практикума по курсу "Проектирование АСНИ". Кратко излагаются общие теоретические сведения, необходимые для выполнения лабораторных работ. Приводится порядок выполнения лабораторных работ, раскрывается содержание основных этапов и формулируются требования к отчетам по лабораторным работам.

Методические указания предназначены для студентов специальности 0646.

## Содержание

Введение .....	4
1. Основные понятия теории идентификации .....	8
2. Характеристика компонентов АСНИ, исследуемых в лабораторном практикуме .....	17
2.1. Состав исследуемых компонентов .....	17
2.2. Классификация исследуемых компонентов .....	20
2.2.1. Классификация компонентов по форме представления информации на их входе и выходе .....	20
2.2.2. Классификация компонентов по их концептуальной модели .....	26
3. Оперируемые характеристики компонентов .....	31
4. Организация автоматизированного комплекса .....	34
4.1. Функциональная организация автоматизированного комплекса .....	34
4.2. Организация обеспечений автоматизированного комплекса .....	36
4.2.1. Методическое обеспечение .....	36
4.2.2. Техническое обеспечение .....	38
4.2.3. Программное и информационное обеспечение .....	43
4.2.4. Метрологическое обеспечение .....	45
5. Порядок выполнения лабораторных работ .....	47
Основные термины и определения .....	49
Список сокращений .....	57
Литература .....	58

## ВВЕДЕНИЕ

Необходимость оценивания характеристик автоматизированных систем научных исследований (АСНИ) и их компонентов возникает на различных стадиях создания и эксплуатации (см. Таблицу 1) /1,2/. С точки зрения степени априорного (до проведения оценивания) знания математических моделей АСНИ и их компонентов<sup>1)</sup> можно выделить два класса задач оценивания:

1. Оценивание характеристик при заданной структуре математической модели компонента.

2. Оценивание характеристик при неизвестной структуре математической модели компонента.

Первый класс задач возникает, например, при входном контроле комплектующих изделий и проведении эксплуатационных испытаний и сводится по существу к оцениванию параметров. Второй, более сложный класс задач возникает, например, при построении математической модели АСНИ как объекта проектирования, т.е. на этапе формализации задачи проектирования. Этот этап является довольно сложным и требует совместного применения формализованных и неформализованных (эвристических) процедур. В то же время он довольно ответственный, т.к. принятая математическая модель АСНИ во многом определяет результат проектирования.

Решение задач оценивания возможно тремя методами:

- теоретическим,
- имитационным моделированием,
- экспериментальным.

Каждый метод имеет свои преимущества и недостатки (см. Таблицу

2). Поэтому на практике они часто применяются совместно, взаим-

1) Далее будем говорить только о компонентах АСНИ, рассматривая АСНИ в целом как компонент первого уровня иерархии

Таблица 1

Оценивание характеристик АСНИ и их компонентов  
на различных стадиях создания и эксплуатации

№ п/п	Стадия создания и эксплуатации	Цель оценивания характеристик
1.	Предпроектные исследования и разработка технического задания	Определение недостающих исходных данных для проектирования, построения математических моделей АСНИ, испытания макетов нестандартных компонентов
2.	Технический проект	то же
3.	Рабочий проект	- " -
4.	Изготовление и наладка	Входной контроль комплектующих изделий
5.	Испытания	Доводочные испытания
6.	Опытная эксплуатация	Предварительные испытания
7.	Сдача в штатную эксплуатацию	Приемочные испытания
8.	Эксплуатация	Эксплуатационные испытания

Таблица 2

Сравнение методов оценивания характеристик АСНИ и их компонентов

№ п/п	Метод оценивания	Необходимые исходные данные для применения метода	Достоинства метода	Недостатки метода
1.	Теоретический	математическая модель компонента	наглядность результатов оценивания, небольшие материальные затраты	ограниченная область применения, обусловленная теоретической разрешимостью задач оценивания
2.	Имитационного моделирования	имитационная модель компонента	возможность решения задач оценивания высокой сложности	большие материальные и временные затраты, трудоемкость реализации имитационной модели на ЭВМ
3.	Экспериментальный	концептуальная модель компонента	широкая область применения, возможность достижения высокой точности и достоверности оценивания	большие материальные и временные затраты, необходимость полной или частичной реализации компонента

но дополняя друг друга. Например, оценивание метрологических характеристик измерительно-вычислительных комплексов может осуществляться теоретически по метрологическим характеристикам их компонентов, для которых в свою очередь эти характеристики определены экспериментально /3/.

Инженеры-системотехники по разработке АСНИ должны владеть каждым из указанных выше методов. В процессе их подготовки в вузе методы теоретического оценивания осваиваются при изучении лекционных материалов по дисциплине "Проектирование АСНИ" и при выполнении расчетных заданий по лабораторным работам и курсового проекта. Метод имитационного моделирования подробно изучается в дисциплине "Моделирование систем". Экспериментальные методы изучаются и практически осваиваются при выполнении лабораторных работ по дисциплине "Проектирование АСНИ".

Цель лабораторного практикума по курсу "Проектирование АСНИ" состоит в обучении студентов:

- методам и средствам экспериментального оценивания характеристик компонентов АСНИ;
- методам построения (идентификации) математических моделей компонентов АСНИ на основании результатов экспериментального исследования их характеристик;
- методам анализа математических моделей компонентов АСНИ структурно и (или) параметрически определенных при идентификации.

Лабораторный практикум включает семь работ. Лабораторные работы выполняются на автоматизированном комплексе для оценивания характеристик АСНИ и их компонентов и обучения проектированию АСНИ (АК-01).

В настоящем методическом пособии излагаются принципы построения АК-01, методология его применения и теоретические сведения, необходимые при выполнении лабораторных работ. Приводятся

также основные термины и определения, используемые в методических указаниях к лабораторным работам. Т.е. настоящие методические указания играют роль справочного руководства и поэтому с ними необходимо ознакомиться перед выполнением лабораторных работ и использовать при изучении методических указаний к лабораторным работам.

При выполнении лабораторных работ по курсу "Проектирование АСНИ" предполагается, что студентами предварительно освоена работа на алфавитно-цифровом дисплее СМ-7219 по методическому пособию /4/.

## I. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ТЕОРИИ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Как было отмечено во Введении, в процессе выполнения лабораторного практикума студенты должны освоить:

- методы и средства экспериментального оценивания характеристик компонентов АСНН;
- методы идентификации математических моделей компонентов;
- методы анализа математических моделей компонентов, структурно и (или) параметрически определенных в процессе идентификации.

Центральное место при этом занимает задача идентификации математических моделей, поскольку оценивание носит подчиненный этим задачам характер, а анализ моделей является производным вопросом. Поэтому прежде, чем приступить непосредственно к описанию автоматизированного комплекса, необходимо рассмотреть основные положения теории идентификации.

Остановимся сначала на определения базовых понятий.

Рассматриваемая в процессе исследования физическая среда должна быть подразделена на две части :

- объект исследования;
- внешнюю среду объекта исследований.

Объект исследования - часть физической среды, изучение свойств которой составляет цель исследований.

Внешняя среда объекта исследований - часть физической среды, свойства которой оказывают влияние на свойства исследуемого компонента.

Подразделение на объект исследования и его внешнюю среду в ряде случаев произвести легко, а в ряде случаев затруднительно. Эти трудности особенно проявляются при нечетко определенных целях исследования вследствие, скажем, сложности изучаемого процесса или явления.

**Математическая модель объекта** - приближенное описание объекта, выраженное с помощью математической символики.

**Идентификация математической модели** - определение структуры и (или) параметров математической модели.

**Структура объекта** определяет составные части объекта и связи между ними в рамках конкретного рассмотрения.

Здесь и далее фразой "в рамках конкретного рассмотрения" подчеркивается, что при практическом применении соответствующего определения необходимо обязательно учитывать конкретно рассматриваемую задачу и в отрыве от ее постановки применять определение некорректно. Так, например, в зависимости от целей задачи анализа объекта, его составные части и связи между ними, т.е. структура объекта, могут быть определены по-разному.

**Структурная идентификация математической модели** - определение структуры математической модели.

**Параметрическая идентификация математической модели** - определение параметров математической модели.

Далее будем использовать следующие обозначения:

$\hat{X}$  - целенаправленно формируемая оценка величины  $X$  на основании идеальных результатов измерений, т.е. при полном отсутствии погрешностей измерений;

$\tilde{X}$  - измеренное значение (оценка) истинного значения величины  $X$  ;

$\hat{\tilde{X}}$  - целенаправленно формируемая оценка величины  $X$  на основании реальных результатов измерений, т.е. при наличии погрешностей измерений.

Например, в случае оценивания среднего значения  $\hat{E}X$  случайной величины  $X$  по выборочному среднему

$$\hat{E}X = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N X_n ,$$

где  $X_n, n=1, \bar{N}$  - истинное значение  $n$ -ой выборки случайной величины  $X$ ;

$$\hat{E}X = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \bar{x}_n,$$

где  $\bar{x}_n, n=1, \bar{N}$  - измеренное значение  $n$ -ой выборки случайной величины  $X$ .

Проиллюстрируем введенные выше определения на примере.

### Пример I.1

Необходимо решить задачу идентификации математической модели нормализующего измерительного преобразователя в статическом режиме его функционирования, целью которой является получение оценки  $\hat{f}(X)$  истинной функции преобразования  $f(X)$ .

Функция преобразования  $f(X)$  определяет функциональную взаимосвязь между выходом  $Y$  и входом  $X$  измерительного преобразователя в статическом режиме.

Пусть на основании априорных сведений об измерительном преобразователе (например, принципов его функционирования) и (или) результатов экспериментального исследования его можно отнести к линейным преобразователям. Тогда этап структурной идентификации состоит в задании  $\hat{f}(X)$  в виде

$$Y = a_0 + a_1 X, \quad (I.1)$$

где  $a_0$  и  $a_1$  некоторые, пока неизвестные параметры.

Здесь структура объекта (математической модели) определяется:

- составом математической модели - входом  $X$  и выходом  $Y$ ;
- связью (I.1) между  $X$  и  $Y$ , имеющей линейный характер.

Этап параметрической идентификации состоит в получении оценок  $\hat{a}_0$  и  $\hat{a}_1$  параметров  $a_0$  и  $a_1$ .

Окончательно после проведения идентификации получаем оценку  $\hat{f}(X)$  в виде

$$Y = \hat{a}_0 + \hat{a}_1 X \quad (I.2)$$

Будем различать прямое и косвенное описание объектов и соответствующие им прямые и косвенные математические модели.

Прямая математическая модель объекта – математическая модель, устанавливающая непосредственную функциональную связь между выходом  $Y$  объекта, его входом  $X$ , состояниями объекта и др. факторами.

Косвенная математическая модель объекта – математическая модель, устанавливающая функциональную связь между характеристиками выхода  $Y$  объекта, его входа  $X$ , состояний объекта и др. факторов.

### Пример I.2

Математическая модель измерительного преобразователя (I.I) является прямой, что следует из самого определения функции преобразования  $f(x)$ .

Математическая модель измерительного преобразователя, устанавливающая в случае линейной  $f(x)$  взаимосвязь между математическим ожиданием  $EY$  выхода  $Y$  и математическим ожиданием  $EX$  входа  $X$  в виде

$$EY = Q_0 + Q_1 EX \quad (I.3)$$

является косвенной.

Методы идентификации математических моделей объектов в значительной степени базируются на их экспериментальных исследованиях. При этом задача идентификации в терминах теории планирования эксперимента формулируется как определение функциональной взаимосвязи между откликом объекта  $\bar{W}$  (характеристиками отклика) и факторами  $\bar{F}$  (характеристиками факторов), его определяющими.

План эксперимента – совокупность данных, определяющих число, условия и порядок реализации опытов.

Планирование эксперимента - выбор плана эксперимента, удовлетворяющего заданным требованиям.

Фактор - переменная величина, по предположению влияющая на результаты опытов.

Уровень фактора - фиксированное значение фактора относительно начала отсчета.

Отклик - наблюдаемая величина, по предположению зависящая от факторов.

Опыт - воспроизведение исследуемого явления в определенных условиях проведения эксперимента при возможности регистрации его результатов.

При проведении эксперимента для объекта исследования создается экспериментальная среда, состояние которой в общем случае характеризуется следующими параметрами :

- контролируемые и управляемые в процессе проведения эксперимента  $\vec{V}_{uv}$  ;
- контролируемые, но неуправляемые в процессе проведения эксперимента  $\vec{V}_{un}$  ;
- неконтролируемые и неуправляемые в процессе проведения эксперимента  $\vec{V}_{nn}$  .

Факторы по определению представляют собой первую и вторую группу параметров. Параметры последней группы искажают результаты эксперимента и поэтому могут трактоваться как шум  $\vec{F} \equiv \vec{V}_{nn}$  .

Уменьшение влияния шума  $\vec{F}$  на результаты идентификации является одной из задач теории планирования эксперимента.

Различают активную и пассивную идентификацию.

Активная идентификация математической модели - метод идентификации, при котором уровни факторов в каждом опыте задаются исследователем.

Пассивная идентификация математической модели - метод

идентификации, при котором уровни факторов в каждом опыте регистрируются исследователем, но не задаются.

Таким образом, при активной идентификации есть управляемые и контролируемые параметры  $\bar{V}_{KV}$ , а при пассивной - контролируемые, но неуправляемые  $\bar{V}_{KN}$ . Активная идентификация, как правило, более эффективна. Поэтому в лабораторных работах используется исключительно этот метод идентификации.

Функциональная схема процесса активной идентификации приведена на Рис.1. Этот процесс включает следующие этапы:

1. Формулировка целей идентификации.

2. Определение плана идентификационного эксперимента, в частности, множества значений (уровней) факторов  $\{\bar{F}_m \equiv \bar{V}_{KVM}\}_{m=1, \bar{M}}$ .

3. Проведение эксперимента, в результате которого определяется множество  $\{\langle \bar{V}_{KVM}, \bar{W}_m \rangle\}_{m=1, \bar{M}}$  *двоек*  $\langle \bar{V}_{KVM}, \bar{W}_m \rangle$ .

4. Построение математической модели объекта  $\bar{M}$  на основании измеренных значений  $\{\langle \bar{V}_{KVM}, \bar{W}_m \rangle\}_{m=1, \bar{M}}$  при идентификации прямых моделей или оценок  $\hat{\bar{C}}(\langle \bar{V}_{KVM}, \bar{W}_m \rangle_{m=1, \bar{M}}, \bar{V}_{KN})$  характеристик  $\bar{C}(\bar{V}_{KV}, \bar{W})$  при идентификации косвенных моделей.

При проведении анализа разработанных математических моделей компонентов определяются их адекватность и чувствительность.

Адекватность математической модели - соответствие математической модели экспериментальным данным по выбранному критерию.

Таким образом, анализ адекватности состоит в проверке выполнения условий

$$\Delta_{пр}(\bar{M}, \{\langle \bar{V}_{KVM}, \bar{W}_m \rangle\}_{m=1, \bar{M}}) \leq \Delta_0 \text{ пр}; \quad (I.4)$$

$$\delta_{пр}(\bar{M}, \{\langle \bar{V}_{KVM}, \bar{W}_m \rangle\}_{m=1, \bar{M}}) = \frac{\Delta_{пр}(\bar{M}, \{\langle \bar{V}_{KVM}, \bar{W}_m \rangle\}_{m=1, \bar{M}})}{C_{пр}(\bar{M})} \leq \delta_0 \text{ пр}; \quad (I.5)$$

при идентификации прямых математических моделей;

или условий

Функциональная схема процесса активной идентификации

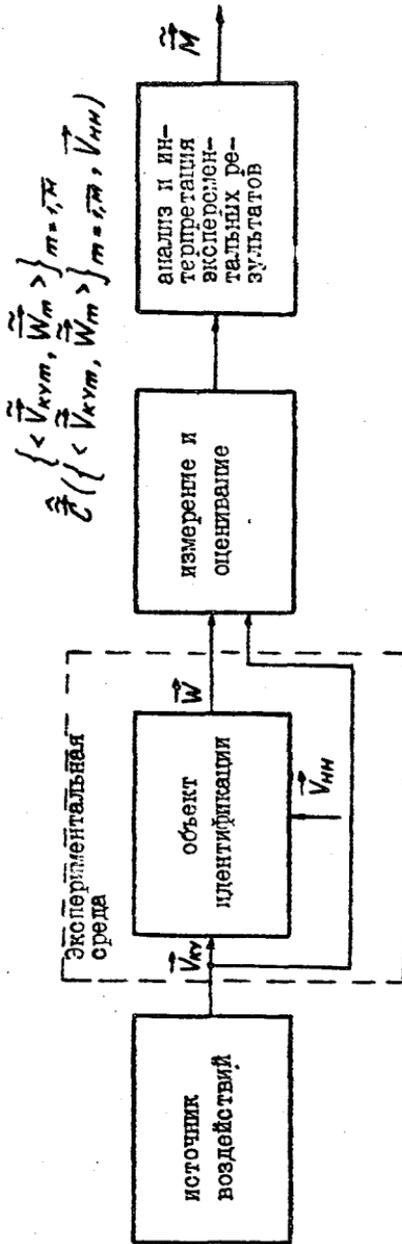


Рис. I

$$\Delta_K(\vec{M}, \hat{C}(\{\langle \vec{V}_{KVT}, \vec{W}_m \rangle\}_{m=1, \dots, M}, \vec{V}_{NN})) \leq \Delta_{OK}; \quad (I.6)$$

$$\delta_K(\vec{M}, \{\langle \vec{V}_{KVT}, \vec{W}_m \rangle\}_{m=1, \dots, M}, \vec{V}_{NN}) = \frac{\Delta_K(\vec{M}, \hat{C}(\{\langle \vec{V}_{KVT}, \vec{W}_m \rangle\}_{m=1, \dots, M}, \vec{V}_{NN}))}{C_K(\vec{M})} \leq \delta_K; \quad (I.7)$$

при идентификации косвенных математических моделей. В (I.4)-(I.7) обозначено:

$\Delta_{np}(\cdot), \delta_{np}(\cdot), \Delta_K(\cdot), \delta_K(\cdot)$  - меры расхождения между разработанной математической моделью  $\vec{M}$  и результатами измерений  $\{\langle \vec{V}_{KVT}, \vec{W}_m \rangle\}_{m=1, \dots, M}$  или оценивания  $\hat{C}(\{\langle \vec{V}_{KVT}, \vec{W}_m \rangle\}_{m=1, \dots, M}, \vec{V}_{NN})$ , представленные в абсолютной (I.4), (I.6) и относительной (I.5), (I.7) формах;

$\Delta_{0np}, \delta_{0np}, \Delta_{OK}, \delta_{OK}$  - заданные уровни значимости;  
 $C_{np}(\vec{M}), C_K(\vec{M})$  - некоторые нормирующие величины, зависящие от математической модели  $\vec{M}$ .

При анализе чувствительности определяется влияние погрешностей измерений  $\bar{\Delta}_{VKV}, \bar{\Delta}_W$  и оценивания  $\bar{\Delta}_C$  на математическую модель  $\vec{M}$ . Количественно чувствительность оценивается функциями чувствительности, равными

$$S_{np}(\vec{M}, \vec{M}), \quad (I.8)$$

$$s_{np}(\vec{M}, \vec{M}) = \frac{S_{np}(\vec{M}, \vec{M})}{d_{np}(\vec{M})}, \quad (I.9)$$

при идентификации прямых математических моделей;

$$S_K(\vec{M}, \vec{M}), \quad (I.10)$$

$$s_K(\vec{M}, \vec{M}) = \frac{S_K(\vec{M}, \vec{M})}{d_K(\vec{M})}. \quad (I.11)$$

при идентификации косвенных математических моделей.

В (I.8)+(I.11) обозначено:

$S_{np}(\cdot), s_{np}(\cdot), S_K(\cdot), s_K(\cdot)$  - меры расхождения между математической моделью  $\vec{M}$ , построенной на основании реальных результатов с учетом погрешностей измерений  $\bar{\Delta}_{VKV}, \bar{\Delta}_W$  и оценивания

$\Delta \varepsilon$ , и математической моделью  $\bar{M}$ , построенной на основании абсолютно точных результатов измерений  $\{ \langle \bar{V}_{k_{i,m}}, \bar{W}_m \rangle \}_{m=i, \bar{M}}$  и оценивания  $\hat{\varepsilon}(\{ \langle \bar{V}_{k_{i,m}}, \bar{W}_m \rangle \}_{m=i, \bar{M}}, \bar{V}_{k_{i,m}})$ , представленные в абсолютной (I.8), (I.10) и относительной (I.9), (I.11) формах;

$d_{no}(M), d_x(M)$  - некоторые нормирующие величины, зависящие от модели  $\bar{M}$ .

### Пример I.3

Пусть решается задача идентификации математической модели подпрограммы, которая определяет зависимость времени ее выполнения  $T(x)$  от переменной (фактора)  $x$ .

В результате идентификационного эксперимента получено множество

$$\{ \langle \bar{T}(x_m), \bar{x}_m \rangle \}_{m=i, \bar{M}}, \quad (I.12)$$

причем установлено, что результаты имеют малый разброс

$$\max_m \bar{T}(x_m) - \min_m \bar{T}(x_m) \ll \min_m \bar{T}(x_m), \quad (I.13)$$

т.е. обнаружено малое влияние значений  $x_m$  на время  $\bar{T}(x_m)$

При этом в качестве математической модели правомерно принять

$$\hat{T} = \max_m \bar{T}(x_m) = const \quad (I.14)$$

Адекватность модели (I.14) может быть, например, оценена из условий

$$\Delta(\hat{T}, \bar{T}(x_m)) = \max_m | \hat{T} - \bar{T}(x_m) | \leq \Delta_0, \quad (I.15)$$

$$\delta(\hat{T}, \bar{T}(x_m)) = \frac{\max_m | \hat{T} - \bar{T}(x_m) |}{\hat{T}} \leq \delta_0, \quad (I.16)$$

где для  $\Delta(\cdot)$  и  $\delta(\cdot)$  принята равномерная мера отклонения результатов эксперимента (I.12) от модели (I.14).

Чувствительность модели (I.14)

$$S(\hat{T}, \bar{T}) = \hat{T} - \bar{T} = \max_m \bar{T}(x_m) - \max_m T(x_m), \quad (I.17)$$

$$S(\hat{T}, \hat{T}) = \frac{S(\hat{T}, \hat{T})}{\hat{T}} = \frac{\max_m \hat{T}(X_m) - \max_m T(X_m)}{\max_m T(X_m)} \quad (1.18)$$

## 2. ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПОНЕНТОВ АСНИ, ИССЛЕДУЕМЫХ В ЛАБОРАТОРНОМ ПРАКТИКУМЕ

### 2.1. Состав исследуемых компонентов АСНИ

На Рис.2 приведена функциональная схема автоматизированного исследовательского комплекса для проведения экспериментальных исследований.

Автоматизированный исследовательский комплекс - совокупность совместно функционирующих автоматизированной системы научных исследований, технологической установки и объекта исследований.

Технологическая установка для проведения эксперимента - установка, обеспечивающая создание необходимой экспериментальной среды.

Автоматизированная система научных исследований - программно-аппаратный комплекс на базе средств вычислительной техники, предназначенный для проведения научных исследований или комплексных испытаний образцов новой техники на основе получения и использования моделей исследуемых объектов, явлений и процессов.

На Рис.2 обозначено :

- ОИ - объект исследования,
- ТУ - технологическая установка,
- ЭС - экспериментальная среда,
- ПСУ - подсистема управления АСНИ,
- ПСИ - подсистема измерения,

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО КОМПЛЕКСА

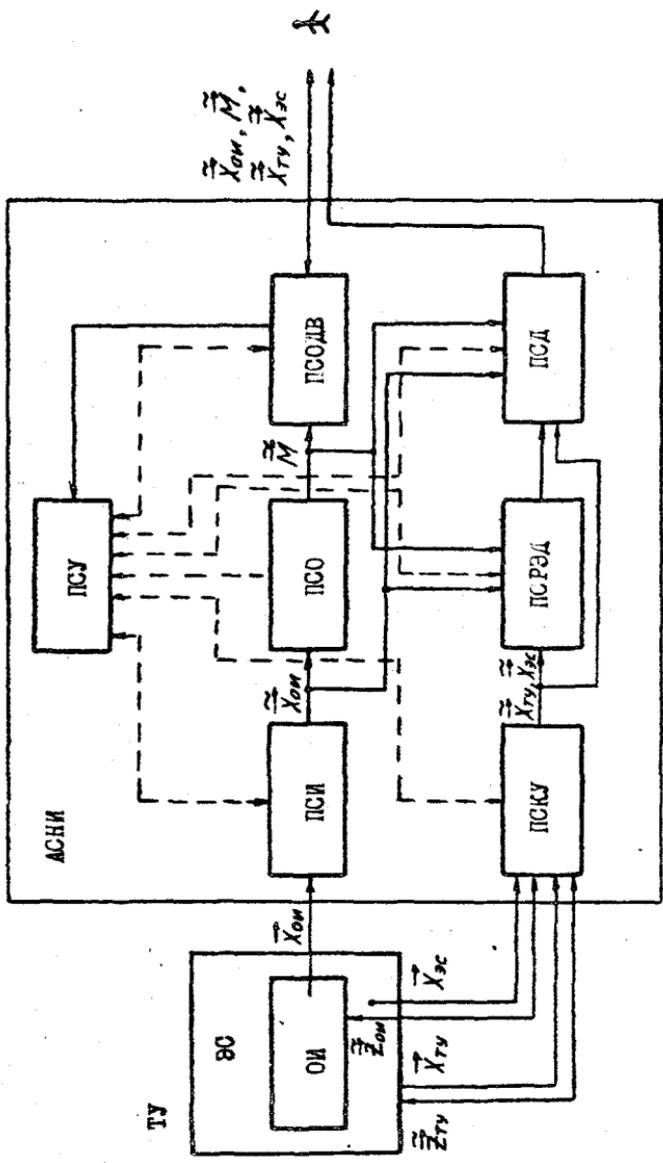


Рис. 2

- ПСО - подсистема оценивания,  
ПСОВВ - подсистема отображения и диалогового взаимодействия,  
ПСКУ - подсистема контроля и управления объектом исследования и технологической установкой,  
ПСРЭД - подсистема регистрации экспериментальных данных,  
ПСД - подсистема документирования,  
 $\bar{X}_{он}$  - измеряемые параметры объекта исследований,  
 $\bar{X}_{эс}$ ,  $\bar{X}_{ту}$  - измеряемые и контролируемые параметры экспериментальной среды и технологической установки,  
 $\bar{X}_{он}$ ,  $\bar{X}_{эс}$ ,  $\bar{X}_{ту}$  - измеренные значения параметров  
 $\bar{X}_{он}$ ,  $\bar{X}_{эс}$ ,  $\bar{X}_{ту}$  ;  
 $\bar{M}$  - математическая модель объекта исследований,  
 $\bar{Z}_{он}$ ,  $\bar{Z}_{ту}$  - управления, реализуемые подсистемой контроля и управления.

На Рис.2 и далее информационные связи обозначены сплошными линиями, а управляющие - пунктирными.

Подсистема АСН. - система, являющаяся частью автоматизированной системы научных исследований и выделенная по определенному признаку.

На схеме Рис.2 деление АСНИ на подсистемы произведено по функциональному признаку.

Объектами исследований в лабораторных работах являются функциональные подсистемы АСНИ (ПСИ, ПСКУ, ПСУ, ПСРЭД) и их программные модули. Это позволяет студентам изучить :

- специфику методов и средств идентификации математических моделей различных функциональных подсистем,
- методы организации обеспечений функциональных подсистем АСНИ;
- методы аналитического расчета характеристик функциональных подсистем на основе характеристик их компонентов.

Подробное описание объектов исследований приведено в методических указаниях к лабораторным работам.

## 2.2. Классификация исследуемых компонентов

Рассмотрим классификацию исследуемых компонентов по двум признакам :

- форма представления информации на входе и выходе компонента,
- концептуальная модель компонента.

2.2.1. Классификация компонентов по форме представления информации на их входе и выходе. Остановимся предварительно на ряде определений.

Информация - сведения, являющиеся объектом операций передачи, распределения, преобразования, хранения или непосредственного использования.

Из всех форм представления информации будем использовать две - электрический сигнал и данные.

Сигнал - форма представления информации для передачи по каналу.

Канал - заданная совокупность средств преобразования и передачи информации, включая физическую среду.

Канал будем трактовать в расширенном смысле, а не только как канал системы связи. Т.е. под ним будем также понимать измерительный канал, каналы контроля и управления и т.д.

Электрический сигнал - сигнал, информативными параметрами которого являются электрические параметры.

Информативный параметр - параметр сигнала, функционально связанный с измеряемым, контролируемым и т.д. параметром.

Так информативными параметрами электрического сигнала при измерении температуры могут быть :

- сопротивление терморезистора,
- ток термопары,
- напряжение на выходе измерительной схемы,

- напряжение на выходе нормализующего измерительного преобразователя.

Измеряемый (контролируемый) параметр - показатель физического процесса, события или явления, значения и поведение которого подлежат измерению (контролю).

Данные - форма представления информации, пригодная для обработки автоматическими и автоматизированными средствами.

Физическая величина - свойство, общее в качественном отношении многим физическим объектам (физическим системам, их состояниям и происходящим в них процессам), но в количественном отношении индивидуальное для каждого объекта.

Значение физической величины - оценка физической величины в виде некоторого числа принятых для нее единиц.

Свойства объекта количественно характеризуются значениями физических величин, соответствующих этим свойствам.

Состояние объекта - совокупность значений физических величин, определяющих свойства объекта.

Если свойства объекта характеризуются вектором физических величин  $\vec{S} = \{S_k\}_{k=1, B}$ , то состояние объекта определяется значениями  $S_k$ ,  $k=1, B$  координат вектора  $\vec{S}$ .

Пространство состояний объекта - множество всех возможных состояний объекта.

Размерность пространства состояний определяется размерностью  $B$  вектора  $\vec{S} = \{S_k\}_{k=1, B}$ .

Процесс - множество состояний объекта, упорядоченное по некоторому признаку.

Таким признаком может быть, например, время.

Событие - переход объекта из одного состояния в другое.

Далее будем рассматривать объекты с одномерным пространством состояний и дискретным множеством состояний  $D_S = \{S_k\}_{k=1, K}$ ,

а процесс будем определять как упорядоченное по времени множество состояний объекта. Состояние объекта в момент времени  $t$  будем обозначать через  $S(t)$ .

Момент наступления события — момент времени, связанный с переходом объекта из одного состояния в другое.

Момент  $t_{pq}$  наступления события  $E_{pq}$ , состоящего в переходе объекта из состояния  $S_p$  в состояние  $S_q$ , где  $p \neq q$ ,  $p, q \in \{1, K\}$ , формально определим следующим образом

$$t_{pq} = t: (S(t) = S_p) / (S(t+0) = S_q) \quad (2.1)$$

Интервал состояния — интервал времени между моментами наступления соседних событий.

Интервал состояния, в течение которого объект находится в состоянии  $S_q$

$$I_q = (t_{pq}, t_{qr}] = \{t: S(t) = S_q\}. \quad (2.2)$$

Длительность интервала состояния — значение интервала состояния.

$$\tau_q = t_{qr} - t_{pq} \quad (2.3)$$

Динамический параметр объекта — параметр, характеризующий изменение состояния объекта во времени.

Информационный процесс — процесс, состоящий из операций передачи, распределения, преобразования, хранения или непосредственного использования информации.

Теперь перейдем непосредственно к классификации компонентов по первому из указанных выше признаков — форме представления информации на входе и выходе компонента при выполнении им некоторого процесса в рамках конкретного рассмотрения. В соответствии с этим будем выделять аппаратные (АПК), программные (ПРК) и программно-аппаратные (ПАК) компоненты (см. Таблицу 3). Здесь также следует обратить внимание на тот факт, что класс,

к которому принадлежит компонент, определяется постановкой конкретно рассматриваемой задачи. Более того, один и тот же компонент в зависимости от постановки задачи может быть отнесен к различным классам. Проиллюстрируем это замечание следующим примером.

### Пример 2.1

Пусть компонент представляет собой одноканальную подсистему аналого-цифрового преобразования (ПСАЦП) АСНИ и включает аналого-цифровый преобразователь (АЦП), интерфейс АЦП с ЭВМ и подпрограмму опроса АЦП (см. Рис.3). На Рис.3 обозначено:

$U$  - напряжение на входе ПСАЦП,  
 $U_{АЦП}^*$ ,  $U_{И}^*$ ,  $U_0^*$  - цифровые представления напряжения  $U$  на выходе АЦП, интерфейса и подпрограммы опроса, отличающиеся форматом представления;

$\bar{P}_{Вх 0}$ ,  $\bar{P}_{Вх И}$ ,  $\bar{P}_{Вх АЦП}$  и  $\bar{P}_{Вых 0}$ ,  $\bar{P}_{Вых И}$ ,  $\bar{P}_{Вых АЦП}$  - управляющие параметры на входах и выходах подпрограммы опроса, интерфейса и АЦП.

Рассмотрим две задачи, отличающиеся целью анализа ПСАЦП.

#### Задача I.

Требуется определить систематическую погрешность  $\Delta_{Вх c}$  ПСАЦП по входу в статике, т.е. при  $U = const$ .

По определению :

$$\Delta_{Вх c} = E \Delta_{Вх}(U) - E(f^{-1}(U_0^*) - U), \quad U \in D_U, \quad U_0^* \in D_{U_0^*} \quad (2.4)$$

где  $\Delta_{Вх}(U)$  - погрешность ПСАЦП по входу,

$f^{-1}(\ )$  - функция, обратная номинальной функции преобразования ПСАЦП,

$D_U$  и  $D_{U_0^*}$  - области значений  $U$  и  $U_0^*$ .

Поскольку в рассматриваемой задаче определяется погрешность в статике, то временной фактор выполнения процесса явля-

Функциональная схема подсистемы аналого-цифрового преобразования

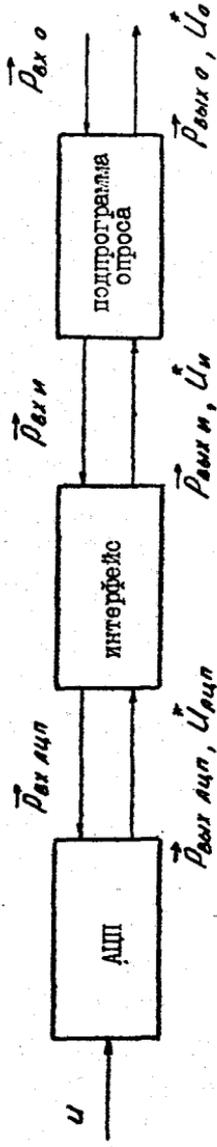


Рис.3

Таблица 3

Классификация компонентов по форме представления информации на их входе и выходе

№№ ПП	Класс компонентов	Форма представления информации	
		на входе компонента	на выходе компонента
1.	Аппаратные	электрический сигнал	электрический сигнал
2.	Программные	данные	данные
3.	Программно-аппаратные	электрический сигнал (данные)	данные (электричес- кий сигнал)

ется несущественным. Достаточно полагать, что полный цикл преобразования (ПСАЦП) заведомо завершается за некоторый временной интервал.

Из (2.4) следует, что оцениваемая характеристика  $\Delta_{sxc}(u)$  определяется величинами  $u$  и  $u^*$  и, следовательно, связана с выполняемым ПСАЦП процессом преобразования  $u$  в  $u^*$ . При выполнении этого процесса информация на входе компонента представлена в форме электрического сигнала напряжения, а информация на его выходе - в форме данных. Тогда, в соответствии с введенной выше классификацией, ПСАЦП относится к классу программно-аппаратных компонентов.

### Задача 2

Требуется определить время выполнения  $T_0$  подпрограммы опроса для ПСАЦП.

Введем два состояния подпрограммы :

$S_1$  - подпрограмма не выполняется,

$S_2$  - подпрограмма выполняется.

Тогда искомая величина

$$T_0 = T_2(u).$$

(2.5)

где  $\tau_2(u)$  - длительность интервала состояния

$$I_2 = (t_{12}, t_{21}] = \{t: S(t) = S_2\}. \quad (2.6)$$

В общем случае  $\tau_2(u)$  является функцией преобразуемого напряжения  $u$ , что объясняется зависимостью времени аналого-цифрового преобразования от напряжения  $u$  для некоторых типов АЦП.

Из (2.5) следует, что оцениваемая характеристика  $T_0(u)$  определяется величиной  $\tau_2(u)$ , следовательно, связана с выполняемым ПСАЦП процессом преобразования параметров  $\vec{P}_{Вх}$  в параметры  $\vec{P}_{Вых}$  и код  $U_0$ . При выполнении этого процесса информация на входе и выходе компонента представлена в форме данных. Тогда ПСАЦП принадлежит классу программных компонентов.

Рассмотренный пример позволяет определить последовательность этапов проведения классификации компонентов:

1. Формулировка целей исследования.
2. Определение процесса, выполняемого компонентом и связанного с целью исследования.
3. Определение формы представления информации на входе и выходе компонента при выполнении процесса, определенного на втором этапе.
4. Проведение классификации компонента по введенному признаку.

В лабораторных работах исследуются компоненты, для которых:

- электрические сигналы на входе или выходе представлены в форме напряжения,
- данные на входе и (или) выходе представлены переменными в целом или вещественном формате.

2.2.2. Классификация компонентов по их концептуальной модели. Важную роль в задачах идентификации играют априорные (концептуальные) модели компонентов, т.е. те модели, которые

исследователь располагает перед проведением идентификационного эксперимента.

Концептуальная модель объекта – совокупность представлений об объекте, его внешней среде и их взаимодействии в рамках конкретного рассмотрения.

Так, в Примере I.1 концептуальная модель измерительного преобразователя перед этапом параметрической идентификации представляет собой детерминированное линейное функциональное преобразование.

Концептуальная модель может быть определена с различной степенью детальности в зависимости от степени априорной определенности относительно свойств компонента.

### Пример 2.2

Пусть решается задача идентификации косвенной математической модели нормализующего измерительного преобразователя, которая устанавливает функциональную зависимость между вероятностными характеристиками его входа  $X(t)$  и выхода  $Y(t)$  при условии, что  $X(t)$  – стационарный гауссовский случайный процесс.

В зависимости от степени априорной определенности относительно свойств измерительного преобразователя можно ввести следующую иерархию косвенных<sup>2)</sup> концептуальных моделей:

1.  $Y(t)$  – нестационарный случайный процесс, если нет никаких сведений об измерительном преобразователе.

2.  $Y(t)$  – гауссовский случайный процесс, если полагается, что измерительный преобразователь линейный, т.е.

$$Y(t) = AX(t), \quad (2.7)$$

где  $A$  – линейный оператор.

<sup>2)</sup> Разделение концептуальных моделей на прямые и косвенные будем производить по аналогии с разделением математических моделей (см. п. I)

3.  $Y(t)$  - стационарный гауссовский случайный процесс, если полагается, что измерительный преобразователь линейный безинерционный, т.с.

$$Y(t) = f(x(t)), \quad (2.8)$$

где  $f(\ )$  - линейная функция.

Концептуальная модель во многом определяет план идентификационного эксперимента и влияет на выбор методов измерения, оценивания, анализ и интерпретацию экспериментальных результатов.

### Пример 2.3

Пусть решается задача идентификации математической модели подпрограммы, которая определяет зависимость времени ее выполнения  $T(\bar{X})$  или характеристик этого времени от входа  $\bar{X}$ . Подпрограмма осуществляет безинерционное функциональное преобразование

$$Y = f(\bar{X}),$$

где  $\bar{X}$  - целая переменная,  $Y$  - вещественная переменная. Примером такой подпрограммы может служить подпрограмма тарифовки, осуществляющая расчет измеренного значения физического параметра  $Y$  по коду на выходе АЦП  $\bar{X}$ . Нетрудно видеть, что рассматриваемая подпрограмма - программный компонент.

В общем случае измеренное при проведении идентификационного эксперимента время выполнения подпрограммы может быть представлено в виде

$$\bar{T}(\bar{X}) = C(\bar{X}) + \eta + \delta, \quad \bar{X} \in D_{\bar{X}};$$

где  $C(\bar{X})$  и  $\eta$  - постоянная (при заданном  $\bar{X}$ ) и случайная составляющие времени выполнения;

$\delta$  - погрешность измерений.

В зависимости от того, какая вводится концептуальная модель

компонента, план эксперимента (множество уровней  $\{\check{X}_m\}_{m=1, \dots, M}$  фактора  $F = \check{X}$ , число опытов, проводимых при каждом уровне фактора) и методы оценивания будут различными.

### Концептуальная модель I

Положим, что

- $c(\check{X}) - T = const$  и зависимостью составляющей  $c(\check{X})$  от  $\check{X}$  можно пренебречь,
- $\varrho \ll T$  и  $\delta \ll T$  и составляющими  $\varrho$  и  $\delta$  можно пренебречь.

Тогда концептуальная модель  $T(\check{X})$  - постоянная величина. При этом для полного определения прямой математической модели компонента достаточно провести единственное измерение  $T(\check{X})$  при произвольном  $\check{X}$ . План эксперимента будет вырожденным. Операция оценивания отсутствует.

### Концептуальная модель 2

Положим, что  $\varrho \ll T(\check{X})$  и  $\delta \ll T(\check{X})$  при  $\check{X} \in D_{\check{X}}$  и составляющими  $\varrho$  и  $\delta$  можно пренебречь. Тогда концептуальная модель  $T(\check{X})$  - переменная детерминированная величина, зависящая от одного фактора  $\check{X}$ . При этом для исчерпывающего определения прямой математической модели компонента достаточно провести эксперимент по полному факторному плану, т.е. на всем множестве значений фактора  $\check{X} \in D_{\check{X}}$ , и при каждом значении  $\check{X}$  осуществлять измерение величины  $T(\check{X})$  один раз. Операция оценивания отсутствует.

### Концептуальная модель 3

Положим, что  $\delta \ll T(\check{X})$  при  $\check{X} \in D_{\check{X}}$ , и составляющей  $\delta$  можно пренебречь. Тогда концептуальная модель  $T(\check{X})$  - случайная величина, характеристики которой зависят от  $\check{X}$ . При этом для определения косвенной математической модели на требуемом детальности уровне необходимо провести эксперимент по полному фак-

торному плану, т.е. на всем множестве значений  $\bar{x} \in D_x$  и при каждом значении  $\bar{x}$  осуществлять измерение величины  $T(\bar{x})$  число раз, необходимое для оценивания вероятностных характеристик  $T(\bar{x})$  с заданной точностью и достоверностью.

Было полагалось, что погрешность измерений можно пренебречь. Если этого сделать нельзя, то обработка экспериментальных результатов должна включать в себя процедуры фильтрации составляющей  $\Delta$ . При этом погрешность измерения играет роль шума

$$\Delta = \xi \approx V_{\text{шум}} \quad (\text{см. п. I}).$$

При экспериментальных исследованиях компонентов АСНИ в лабораторных работах будем использовать концептуальные модели двух классов :

- детерминированная величина,
- случайная величина.

В обоих случаях будем полагать, что имеется один влияющий фактор.

Последовательность этапов проведения классификации по рассматриваемому признаку аналогична приведенной в конце п.2.2.1.

### 3. ОЦЕНИВАЕМЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОНЕНТОВ АСНИ

В лабораторных работах осуществляется идентификация прямых и косвенных математических моделей компонентов АСНИ. Как было указано выше при идентификации косвенных математических моделей определяется функциональная связь между характеристиками отклика компонента и влияющими факторами.

В лабораторном практикуме исследуются характеристики компонентов АСНИ двух классов :

- точностные в статике,
- динамические.

Точностная характеристика объекта - характеристика свойств объекта, оказывающих влияние на соответствие реализуемых функций преобразования номинальным функциям преобразования, приписываемым данному объекту.

Динамическая характеристика объекта - характеристика инерционных свойств объекта.

Выбор точностных и динамических характеристик компонентов в качестве исследуемых обусловлен их важностью в задачах анализа АСНИ. Действительно, во-первых, целью функционирования любой АСНИ является получение математической модели объекта исследования с требуемой точностью и достоверностью. Из этого вытекают определенные требования и к точностным характеристикам компонентов АСНИ. Во-вторых, АСНИ, как правило, является системой реального времени, непосредственно взаимодействующей с объектом исследования. Отсюда следует важность соблюдения режима реального времени и, следовательно, требований к динамическим характеристикам компонентов АСНИ.

Точностная характеристика объекта в статике - точностная характеристика объекта, определенная при постоянном входном воз-

действия.

Перечень оцениваемых характеристик для различных классов компонентов и их концептуальных моделей приведен в Таблице 4.

Таблица 4

Оцениваемые характеристики компонентов

Концептуальная модель компонента по точности или динамике	Точностные характеристики компонента в статике	Динамические характеристики компонента
Дискретная или непрерывная детерминированная величина; один влияющий фактор	1. Погрешность или систематическая погрешность (абсолютное, относительное, приведенное значения). 2. Вариация (абсолютное, относительное, приведенное значения).	1. Длительность временного интервала выполнения процесса, реализуемого компонентом. 2. Вариация длительности временного интервала процесса, реализуемого компонентом.
Непрерывная случайная величина; один влияющий фактор	1. Систематическая составляющая погрешности (абсолютное, относительное, приведенное значения). 2. Среднеквадратическое отклонение случайной составляющей погрешности (абсолютное, относительное и приведенное значения). 3. Вариация (абсолютное, относительное и приведенное значения). 4. Доверительные вероятности оценивания систематической составляющей погрешности, среднеквадратического значения случайной составляющей погрешности и вариации.	1. Среднее значение длительности временного интервала выполнения процесса, реализуемого компонентом. 2. Среднеквадратическое отклонение длительности временного интервала выполнения процесса, реализуемого компонентом. 3. Вариация длительности временного интервала выполнения процесса, реализуемого компонентом. 4. Доверительные вероятности оценивания среднего значения среднеквадратического значения и вариации длительности временного интервала выполнения процесса, реализуемого компонентом.

Ограничение возможностью оценивания только точностных характеристик в статике обусловлено тем, что в настоящее время практически отсутствуют программно-управляемые образцовые источники

динамических электрических сигналов и высокоточные приборы для измерения их мгновенных значений. Однако, на основании оцениваемых точностных в статике и динамических характеристик в целом ряде случаев можно рассчитать точностные характеристики в динамике. Это, в частности, осуществляется при выполнении расчетных заданий в лабораторных работах № 2, 5.

#### 4. ОРГАНИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА

Рассмотрим функциональную организацию АК-ОИ и дадим краткую характеристику его обеспечений.

##### 4.1. Функциональная организация автоматизированного комплекса

Выбор в качестве базового метода исследования в лабораторных работах метода активной идентификации однозначно определил функциональную структуру АК-ОИ (см. Рис.4), которая следует из функциональной схемы процесса активной идентификации (см. Рис.1).

В АК-ОИ входят три системы :

- система имитации объектов автоматизации (СИМОА),
- система измерения и оценивания характеристик АСНИ и их компонентов (СИО),
- система управления автоматизированным комплексом и диалогового взаимодействия (СУДВ).

СИМОА осуществляет воспроизведение контролируемых и управляемых воздействий (факторов)  $\vec{V}_{кУ}$  в следующих формах :

- образцовые статические аналоговые сигналы напряжения,
- статические сигналы напряжения разрядов кодового слова,
- данные (целые и вещественные переменные).

Эта система является программно-аппаратной.

СИО предназначена для измерения точностных в статике и динамических параметров, оценивания по ним точностных в статике и динамических характеристик компонентов АСНИ и протоколирования экспериментальных результатов. Эта система является также программно-аппаратной.

СУДВ предназначена для управления исследуемым компонентом,



СИМОА и СИО в процессе проведения эксперимента и диалогового взаимодействия пользователей с АК-ОІ. СУДВ обеспечивает :

- настройку исследуемого компонента, СИМОА и СИО на конкретный эксперимент,
- запуск исследуемого компонента, СИМОА и СИО в требуемой последовательности,
- обмен данными между системами АК-ОІ. СУДВ - программная система.

Отм тим, что функциональное назначение и состав АК-ОІ позволяет определить его как автоматизированную систему научных исследований компонентов АСНИ.

#### 4.2. Организация обеспечений автоматизированного комплекса

4.2.1. Методическое обеспечение. В качестве базового метода построения математических моделей исследуемых компонентов АСНИ выбран метод активной идентификации. АК-ОІ предназначен для выполнения экспериментального этапа идентификации.

Высокая скорость и сложность протекания информационных процессов компонентах АСНИ требует автоматизации их экспериментальных исследований. В АК-ОІ все процессы проведения экспериментов в лабораторных работах автоматизированы. Это позволяет свести к минимуму время, затрачиваемое на выполнение рутинных операций, и тем самым увеличить долю времени, отводимого на решение основной задачи - анализ экспериментальных результатов, обоснование, построение и анализ математической модели компонента АСНИ.

Процессы выполнения функций АК-ОІ включают автоматизированные, автоматические и неавтоматизированные процедуры.

Автоматизированные процедуры :

- настройка АК-ОІ на проведение необходимой лабораторной работы,

- настройка на конкретный вариант лабораторной работы;
- запуск и завершение проведения эксперимента по измерению и оцениванию точностных и динамических характеристик компонентов АСНИ.

Автоматические процедуры :

- измерение точностных и динамических параметров компонентов АСНИ,
- оценивание точностных и динамических характеристик компонентов АСНИ,
- протоколирование результатов экспериментальных исследований в заданной форме.

Неавтоматизированные процедуры включают подготовку комплекса технических средств к проведению лабораторного практикума.

Вычисление оценок характеристик компонентов АСНИ при их стохастической концептуальной модели осуществляется рекуррентными методами /5/, которые не требуют хранения массивов экспериментальных данных. Вычисление доверительных вероятностей для оцениваемых характеристик осуществляется последовательными методами /5/, которые позволяют постоянно контролировать достоверность оценивания характеристик и завершать эксперимент по достижении требуемой достоверности.

Лабораторный практикум включает следующие лабораторные работы:

- Система измерения и оценивания характеристик АСНИ и их компонентов. Лабораторная работа № 1.
- Система имитации объектов автоматизации. Лабораторная работа № 2.
- Подсистема управления АСНИ. Лабораторная работа № 3.
- Интерфейс функциональных модулей подсистемы управления АСНИ. Лабораторная работа № 4.
- Подсистема измерений. Лабораторная работа № 5.
- Подсистема контроля и управления. Лабораторная работа № 6.
- Подсистема регистрации экспериментальных данных. Лабораторная работа № 7.

В двух первых лабораторных работах изучаются СИО и СИМОА как системы АК-ОІ, обеспечивающие проведение экспериментальных исследований компонентов АСНИ. В остальных лабораторных работах исследуются отдельные компоненты АСНИ.

Применение АК-ОІ в процессе обучения обеспечивает повышение качества подготовки инженеров-системотехников по разработке АСНИ и позволяет:

- изучить принципы построения АСНИ и их функциональных подсистем на базе современных измерительно-вычислительных комплексов, за счет реализации АК-ОІ на мини-ЭВМ серии СМ ЭВМ и аппаратуре КАМАК;
- провести более глубокий анализ информационных процессов в АСНИ за счет практического выявления факторов, влияющих на эти процессы, и количественного оценивания степени этого влияния;
- развить навыки системотехнического анализа за счет обучения методам построения математических моделей компонентов АСНИ и возможности сравнения альтернативных вариантов их построения;
- обучить профессиональным навыкам работы с современными автоматизированными средствами оценивания точностных и динамических характеристик компонентов АСНИ за счет непосредственного применения этих средств в процессе выполнения лабораторных работ;
- интенсифицировать процесс обучения за счет автоматизации процедур оценивания точностных и динамических характеристик, получения более детальных экспериментальных данных в удобной для восприятия форме за незначительное время, и, следовательно, увеличения времени, отводимого для анализа полученных результатов.

4.2.2. Техническое обеспечение. Все системы АК-ОІ и исследуемые компоненты реализованы на едином комплексе технических средств (КТС), который включает (см. Рис. 5):

- измерительно-вычислительный комплекс ИВК-2,

- системный алфавитно-цифровой видеотерминал СМ-7219;
- алфавитно-цифровой видеотерминал преподавателя СМ-7219;
- мультиплексор передачи данных СМ-8514;
- алфавитно-цифровые терминалы студентов СМ-7219 (8 шт.).

ИБК-2 помимо указанных видеотерминалов включает следующие устройства (см.Рис.6) :

- центральный процессор СМ-2104,
- оперативные запоминающие устройства СМ-3102 (4 шт.) и ОЗУ 64К с общим объемом 124 Кслов;
- накопитель на магнитной ленте ИЗОТ-5003 (2 шт.);
- контроллер накопителя на магнитной ленте СМ-5002;
- накопитель на магнитном диске ИЗОТ-1370 (2 шт.);
- контроллер накопителя на магнитном диске СМ-5402;
- устройство ввода-вывода на перфоленту СМ-6204;
- алфавитно-цифровое устройство параллельной печати СМ-6315;
- крейт 2004 (2 шт.).

Модули КАМАК, используемые в лабораторном практикуме, размещены в одном крейте (см.Рис.7).

В КТС АК-01 входят программно-управляемые приборы :

- источник калиброванных напряжений (ИКН) Ф-7046/6;
- цифровой авометр Ф-30.

Приборы подключаются к магистрали крейта через модули управления МУИКН и МУФ-30М.

Подробное описание КТС лабораторных работ приведено в соответствующих методических указаниях.

Технические средства АК-01 позволяют реализовать широкий класс задач оценивания характеристик компонентов АСНИ. Интерфейсы "Общая шина" и КАМАК дают возможность легко изменять конфигурацию КТС, чем достигаются гибкость АК-01, возможность его расширения и совместимости с другими системами.

Структурная схема КТС АК-01

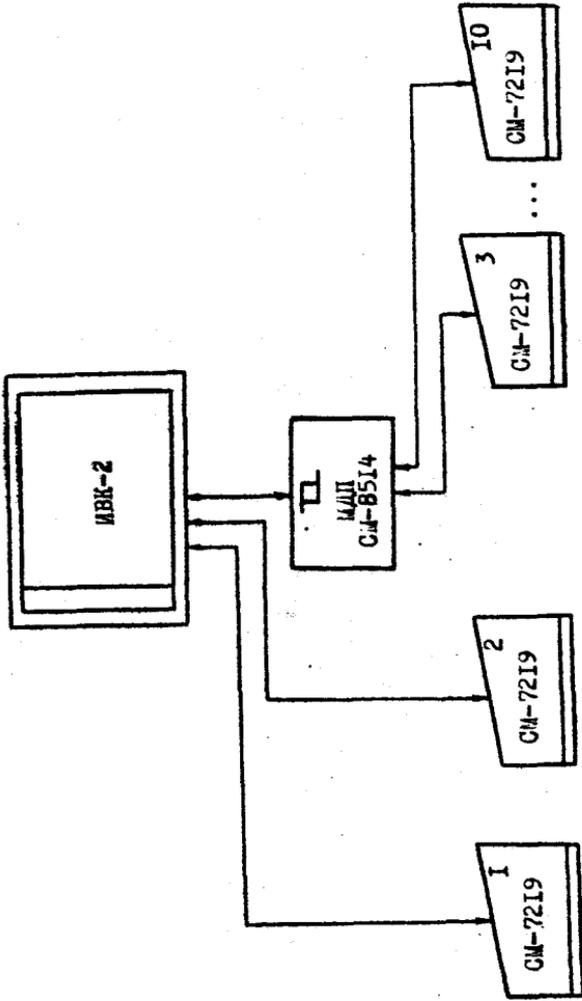


Рис. 5

Структурная схема КТС ИВК-2

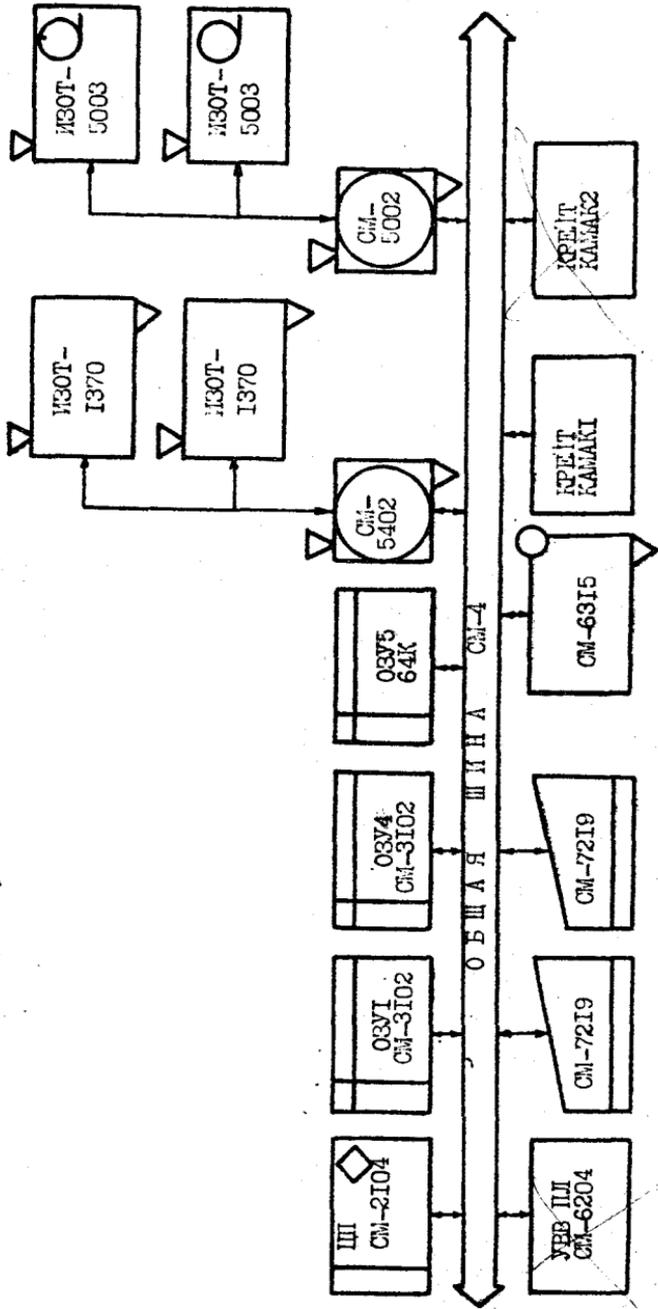


Рис. 6

Структурная схема крейта КАМАК

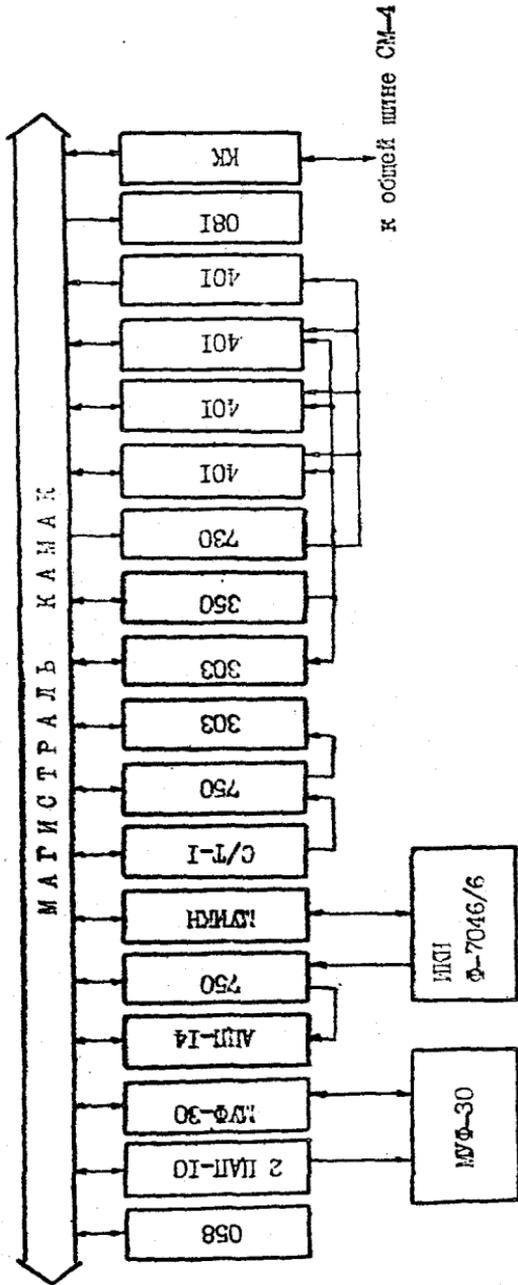


Рис. 7

4.2.3. Программное и информационное обеспечения. Программное обеспечение (ПО) АК-ОІ реализовано в среде операционной системы реального времени (ОС РВ) *RSX-11M* (версия 3.2). Это позволяет обеспечить :

- многозадачный режим с различными дисциплинами диспетчирования,
- многотерминальный режим работы пользователей,
- возможность связи с другими системами через сетевой пакет *DECnet*.

Используются языки программирования ФОРТРАН-IV (версия 2.2) и макроассемблер *MACRO* MIII3.

Структурная схема ПО АК-ОІ приведена на Рис.8.

ПО АК-ОІ организовано на основе принципа процессно-поточковой вычислительной сети, что позволяет обеспечить :

- стандартизацию управления на всех уровнях ПО АК-ОІ;
- расширение функциональных возможностей АК-ОІ за счет открытости ПО и простоты его адаптации;
- отдельную отладку управляющих и функциональных программ;
- простоту подключения тестирующих и отладочных средств;
- простоту встраивания средств измерения динамических параметров управляющих программ.

Информационное обеспечение АК-ОІ также организовано на основе принципа процессно-поточковой вычислительной сети. Обмен данными ведется через кванты - минимально обрабатываемые порции данных. Кванты содержат также данные, параметризующие функциональные модули. Функциональные модули получают доступ к данным только через программный интерфейс, причем при единичном вызове функциональный модуль получает доступ только к одному кванту. Введение квантов данных позволяет формировать динамически создаваемые и уничтожаемые переменные и массивы.

СУДВ обеспечивает заполнение оперативной базы данных (ОБД) и проведение всего эксперимента на основе данных ОБД.

Структурная схема ПО АК-01

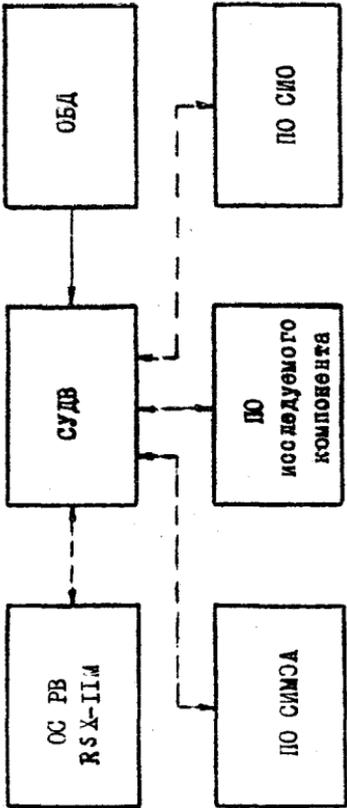


Рис.8

Средства диалога дают возможность входа в систему и настройку на несколько лабораторных работ одновременно и организацию очереди на запуск экспериментов по оцениванию характеристик исследуемых компонентов в пакетном режиме. Это позволяет исключить искажения результатов экспериментов из-за взаимного влияния заданий разных пользователей и использовать всем пользователям одно и то же экспериментальное оборудование. Средства студенческого диалога позволяют обеспечить "прозрачность" операционной среды, что существенно облегчает выполнение лабораторных работ пользователями, незнакомыми с ОС РВ **RSX** - ПМ.

4.2.4. Метрологическое обеспечение. АК-ОІ включает СИО, которая как всякая система измерения должна иметь нормированные метрологические характеристики.

Метрологические характеристики - характеристики свойств средств измерений, оказывающих влияние на результаты и погрешности измерений.

В АК-ОІ используются прямые, косвенные и совокупные методы измерений точностных и динамических параметров компонентов АСНМ. Оценивание точностных и динамических характеристик производится программным путем на основании измеренных значений параметров.

Прямое измерение - измерение, при котором искомое значение величины находят непосредственно из опытных данных.

Косвенное измерение - измерение, при котором искомое значение величины находят на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям.

Совокупные измерения - проводимые одновременно измерения нескольких одноименных величин, при которых искомые значения величин находят решением системы уравнений, получаемых при прямых измерениях различных сочетаний этих величин.

Единство измерений - состояние измерений, при котором их

результаты выражены в узаконенных единицах и погрешности измерений известны с заданной вероятностью.

Единство измерений, выполняемых СИО, обеспечивается применением измерительных приборов (ИКН Ф-7046/6 и авометра Ф-30), кварцевого генератора импульсов 730, и программ оценивания с нормированными метрологическими характеристиками. Метрологические характеристики стандартных средств (ИКН Ф-7046/6, Ф-30, 730), используемых для измерения точностных в статике параметров, нормированы в паспортах. Метрологические характеристики нестандартного измерителя временных параметров и программ оценивания характеристик компонентов АСНИ оценены расчетным путем. Эти результаты подробно излагаются в методических указаниях к лабораторной работе № I.

Оцениваемые точностные в статике и динамические характеристики компонентов АСНИ выбраны из числа рекомендованных в /6/.

## 5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Процесс выполнения лабораторных работ включает следующие этапы :

1. Изучение теоретических основ лабораторной работы.
2. Контрольный опрос.
3. Проведение на АК-ОИ эксперимента по измерению и оцениванию характеристик компонента АСНИ.
4. Анализ полученных экспериментальных результатов, обоснование и построение математических моделей компонента.
5. Выполнение расчетного задания.
6. Оформление отчета.
7. Отчет по лабораторной работе.

На первом этапе студент самостоятельно изучает по лекционным материалам и методическим указаниям к лабораторной работе следующие вопросы:

- назначение исследуемого компонента АСНИ,
- организация обеспечений АСНИ,
- характеристики компонента и методы их теоретического анализа по экспериментальным данным,
- методы анализа обеспечений компонента с целью обоснования его концептуальных моделей,
- методы и средства измерения параметров и оценивания характеристик компонента,
- методы построения математических моделей компонента на основании концептуальных моделей и полученных оценок его характеристик.

На втором этапе преподавателем производится опрос студентов по теоретическому материалу. В случае неудовлетворительного усвоения теоретических вопросов студенты не допускаются к прове-

дению эксперимента и им назначается дополнительное время для повторного контрольного опроса и выполнения эксперимента.

На третьем этапе студент проводит автоматизированный эксперимент на АК-01.

На четвертом этапе каждый студент самостоятельно анализирует полученные им экспериментальные результаты, а также сравнивает их с результатами, полученными другими. На основании анализа обобщаются математические модели компонента при тех или иных допущениях. Этот этап выполняется под руководством преподавателя.

Пятый этап включает :

- анализ адекватности разработанных математических моделей компонента,
- анализ чувствительности математических моделей,
- расчет характеристик исследуемого компонента по характеристикам, определенным экспериментально.

На шестом этапе студенты оформляют отчет по лабораторной работе в соответствии с установленными требованиями. Отчет оформляется на листах бумаги формата 210x297 мм. Рисунки выполняются на миллиметровке того же формата. Титульный лист отчета, текстовой материал, рисунки и распечатки брошюруются.

На седьмом этапе студенты отчитываются преподавателю по лабораторной работе. При этом они должны пояснить полученные результаты.

## Основные термины и определения<sup>1)</sup>

Адекватность математической модели - соответствие математической модели экспериментальным данным по выбранному критерию.

Величина физическая - свойство, общее в качественном отношении многим физическим объектам (физическим системам, их состояниям и происходящим в них процессам), но в количественном отношении индивидуальное для каждого объекта.

Границы погрешности результата измерения доверительные - верхняя и нижняя границы интервала, покрывающего с заданной вероятностью погрешность измерения.

Данные - форма представления информации, пригодная для обработки автоматическими и автоматизированными средствами.

Диапазон измерений - область значений измеряемой величины, для которой нормированы допускаемые погрешности средства измерений.

Длительность интервала состояния - значение интервала состояния.

Значение физической величины - оценка физической величины в виде некоторого числа принятых для нее единиц.

Значение физической величины действительное - значение физической величины, найденное экспериментальным путем и настолько приближающееся к истинному значению, что для данной цели может быть использовано вместо него.

---

<sup>1)</sup> Приведенные термины и определения даны с учетом ГОСТов, руководящих методических материалов и др. нормативной документации в области измерительной и вычислительной техники, обработки данных, автоматизированных систем управления, планирования эксперимента, теории информации.

Значение физической величины истинное - значение физической величины, которое идеальным образом отразало бы в качественном и количественном отношениях соответствующее свойство объекта.

Идентификация математической модели - определение структуры и (или) параметров математической модели.

Идентификация математической модели параметрическая - определение параметров математической модели.

Идентификация математической модели структурная - определение структуры математической модели.

Измерение - нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств.

Интервал состояния - интервал времени между моментами наступления соседних событий.

Информация - сведения, являющиеся объектом операций передачи, распределения, преобразования, хранения или непосредственного использования.

Информация измерительная - информация о значениях измеряемых физических величин.

Комплекс исследовательский автоматизированный - совокупность совместно функционирующих автоматизированной системы научных исследований, технологической установки и объекта исследований.

Канал - заданная совокупность средств преобразования и передачи информации, включая физическую среду.

Метод измерений - совокупность приемов использования принципов и средств измерений.

Модель объекта концептуальная - совокупность представлений об объекте, его внешней среде и их взаимодействии в рамках конкретного рассмотрения.

Модель объекта математическая - приближенное описание объекта, выраженное с помощью математической символики.

Модель объекта математическая косвенная - математическая модель, устанавливающая функциональную связь между характеристиками выхода объекта, его входа, состояний объекта и др. факторов.

Модель математическая прямая - математическая модель, устанавливающая непосредственную функциональную связь между выходом объекта, его входом, состояниями объекта и др. факторами.

Момент наступления события - момент времени, связанный с переходом объекта из одного состояния в другое.

Наблюдение при измерении - экспериментальная операция, выполняемая в процессе измерений, в результате которой получают одно значение из группы значений величины, подлежащих совместной обработке для получения результата измерения.

Объект исследования - часть физической среды, изучение свойств которой составляет цель исследований.

Опыт - воспроизведение исследуемого явления в определенных условиях проведения эксперимента при возможности регистрации его результатов.

Отклик - наблюдаемая величина, по предположению зависящая от факторов.

Параметр измеряемый (контролируемый) - показатель физического процесса, события или явления, значения и поведение которого подлежит измерению (контролю).

Параметр информативный - параметр сигнала, функционально связанный с измеряемым, контролируемым и т.д. параметром.

Параметр объекта динамический - параметр, характеризующий изменение состояния объекта во времени.

**План эксперимента** - совокупность данных, определяющих число, условия и порядок реализации опытов.

**Правила ведения эксперимента** - выбор плана эксперимента, удовлетворяющего заданным требованиям.

**Погрешность измерения** - отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины.

**Погрешность измерения абсолютная** - погрешность измерения, выраженная в единицах измеряемой величины.

**Погрешность измерения инструментальная** - составляющая погрешности измерения, зависящая от погрешностей применяемых средств измерений.

**Погрешность измерения относительная** - отношение абсолютной погрешности измерения к истинному значению измеряемой величины.

**Погрешность измерения систематическая** - составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же величины.

**Погрешность измерения случайная** - составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины.

**Погрешность измерительного преобразователя по входу абсолютная** - разность между значением величины на входе преобразователя, определяемым в принципе по истинному значению величины на его выходе с помощью градуировочной характеристики, приписанной преобразователю, и истинным значением величины на входе преобразователя.

**Погрешность измерительного преобразователя по выходу абсолютная** - разность между истинным значением величины на выходе преобразователя, отображающей измеряемую величину, и значением величины на выходе, определяемым в принципе по истинному

значению величины на входе с помощью градуировочной характеристики, приписанной преобразователю.

Погрешность метода измерений - составляющая погрешности измерения, происходящая от несовершенства метода измерений.

Погрешность средства измерений в динамическом режиме - погрешность средства измерений, используемого для измерения переменной во времени величины.

Погрешность средства измерений динамическая - разность между погрешностью средства измерений в динамическом режиме и его статической погрешностью, соответствующей значению величины в данный момент времени.

Погрешность средства измерений статическая - погрешность средства измерений, используемого для измерения постоянной величины.

Подсистема АСНИ - система, являющаяся частью автоматизированной системы научных исследований и выделенная по определенному признаку.

Поправка - значение величины, одноименной с измеряемой, прибавляемое к полученному при измерении значению величины с целью исключения систематической погрешности.

Предел допускаемой погрешности средства измерений - наибольшая (без учета знака) погрешность средства измерений, при которой оно может быть признано годным и допущено к применению.

Предел измерений - наибольшее или наименьшее значение диапазона измерений.

Преобразователь измерительный - средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и (или) хранения, но не поддающейся непосредственному

восприятию наблюдением.

Преобразователь измерительный масштабный - измерительный преобразователь, предназначенный для изменения величины в заданное число раз.

Преобразователь измерительный первичный - измерительный преобразователь, к которому подведена измеряемая величина, т.е. первый в измерительной цепи.

Преобразователь измерительный промежуточный - измерительный преобразователь, занимающий в измерительной цепи место после первичного.

Принцип измерений - совокупность физических явлений, на которых основаны измерения.

Пространство состояний объекта - множество всех возможных состояний объекта.

Процесс - множество состояний объекта, упорядоченное по некоторому признаку.

Процесс информационный - процесс, состоящий из операций передачи, распределения, преобразования, хранения или непосредственного использования информации.

Результат измерения - значение величины, найденное путем ее измерения.

Результат наблюдения - значение величины, получаемое при отдельном наблюдении.

Сигнал - форма представления информации для передачи по каналу.

Сигнал электрический - сигнал, информативными параметрами которого являются электрические параметры.

Система измерительная - совокупность средств измерений (мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей) и вспо-

могательных устройств, соединенных между собой каналами связи, предназначенная для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для автоматической обработки, передачи и (или) использования в автоматических системах управления.

Система научных исследований автоматизированная - программно-аппаратный комплекс на базе средств вычислительной техники, предназначенный для проведения научных исследований или комплексных испытаний образцов новой техники на основе получения и использования моделей исследуемых объектов, явлений и процессов.

Событие - переход объекта из одного состояния в другое.

Состояние объекта - совокупность значений физических величин, определяющих свойства объекта.

Средство измерений - техническое средство, используемое при измерениях и имеющее нормированные метрологические свойства.

Среда объекта исследований внешняя - часть физической среды, свойства которой оказывают влияние на свойства исследуемого объекта .

Структура объекта определяет составные части объекта и связи между ними в рамках конкретного рассмотрения.

Точность измерений - качество измерений, отражающее близость их результатов к истинному значению измеряемой величины.

Точность средства измерений - качество средства измерений, отражающее близость к нулю его погрешностей.

Уровень фактора - фиксированное значение фактора относительно начала отсчета.

Установка для проведения эксперимента - установка, обеспечивающая создание необходимой экспериментальной среды.

Фактор - переменная величина, по предположению влияющая на результаты опытов.

Характеристика объекта динамическая - характеристика инерционных свойств объекта.

Характеристика объекта точностная - характеристика свойств объекта, оказывающих влияние на соответствие реализуемых функций преобразования номинальным функциям преобразования, присвоенным данному объекту.

Характеристика объекта в статике - точностная характеристика объекта, определенная при постоянном входном воздействии.

Характеристика средства измерений градуировочная - зависимость между значениями величины на выходе и входе средства измерений, составленная в виде таблицы, графика или формулы.

Цель средства измерений измерительная - совокупность преобразовательных элементов средства измерений, обеспечивающая осуществление всех преобразований сигнала измерительной информации.

Список сокращений

- АК - автоматизированный комплекс.
- АПК - аппаратный компонент ..
- АСНИ - автоматизированная система научных исследований.
- АЦП - аналого-цифровой преобразователь.
- ИВК - измерительно-вычислительный комплекс.
- ИКИ - источник калиброванных напряжений.
- КТС - комплекс технических средств.
- МУИКИ - модуль управления источником калиброванных напряжений.
- МУФ - ЗСМ - модуль управления цифровым авометром Ф-30.
- ОБД - оперативная база данных.
- ОИ - объект исследования.
- ОС РВ - операционная система реального времени.
- ПАК - программно-аппаратный компонент...
- ПО - программное обеспечение.
- ПРК - программный компонент .
- ПСАЦП - подсистема аналого-цифрового преобразования.
- ПСД - подсистема документирования.
- ПСИ - подсистема измерения.
- ПСКУ - подсистема контроля и управления объектом исследования и технологической установкой.
- ПСО - подсистема оценивания.
- ПСОДВ - подсистема отображения и диалогового взаимодействия.
- ПСРЭД - подсистема регистрации экспериментальных данных.
- ПСУ - подсистема управления АСНИ.
- СИМОА - система имитации объектов автоматизации.
- СИО - система измерения и оценивания характеристик АСНИ и их компонентов.
- СУДВ - система управления автоматизированным комплексом и диалогового взаимодействия.

ТУ - техническая установка

ЭС - экспериментальная среда

### Литература

1. Египко В.М. Организация и проектирование систем автоматизации научно-технических экспериментов. -Киев: Наукова думка, 1978. -223 с.
2. Египко В.М., Акимов А.П., Горин Ф.Н. Процедуры и методы проектирования автоматизированных систем в научных исследованиях. -Киев: Наукова думка, 1982. -176 с.
3. ГОСТ 26.203-81. ЕЭСП. Комплексы измерительно-вычислительные. Признаки классификации. Общие требования.
4. Выполнение заданий на СМ ЭВМ. -Куйбышев:КуАИ, 1985.
5. Поляк Ю.Г. Вероятностное моделирование на электронных вычислительных машинах. -М.:Сов.радио,1971. -400 с.
6. ГОСТ 8.009-84. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений.