

## **ПОНЯТИЕ «ИСПЫТАНИЯ» ХАРАКТЕРИСТИКИ КАЧЕСТВА ИСПЫТАНИЙ**

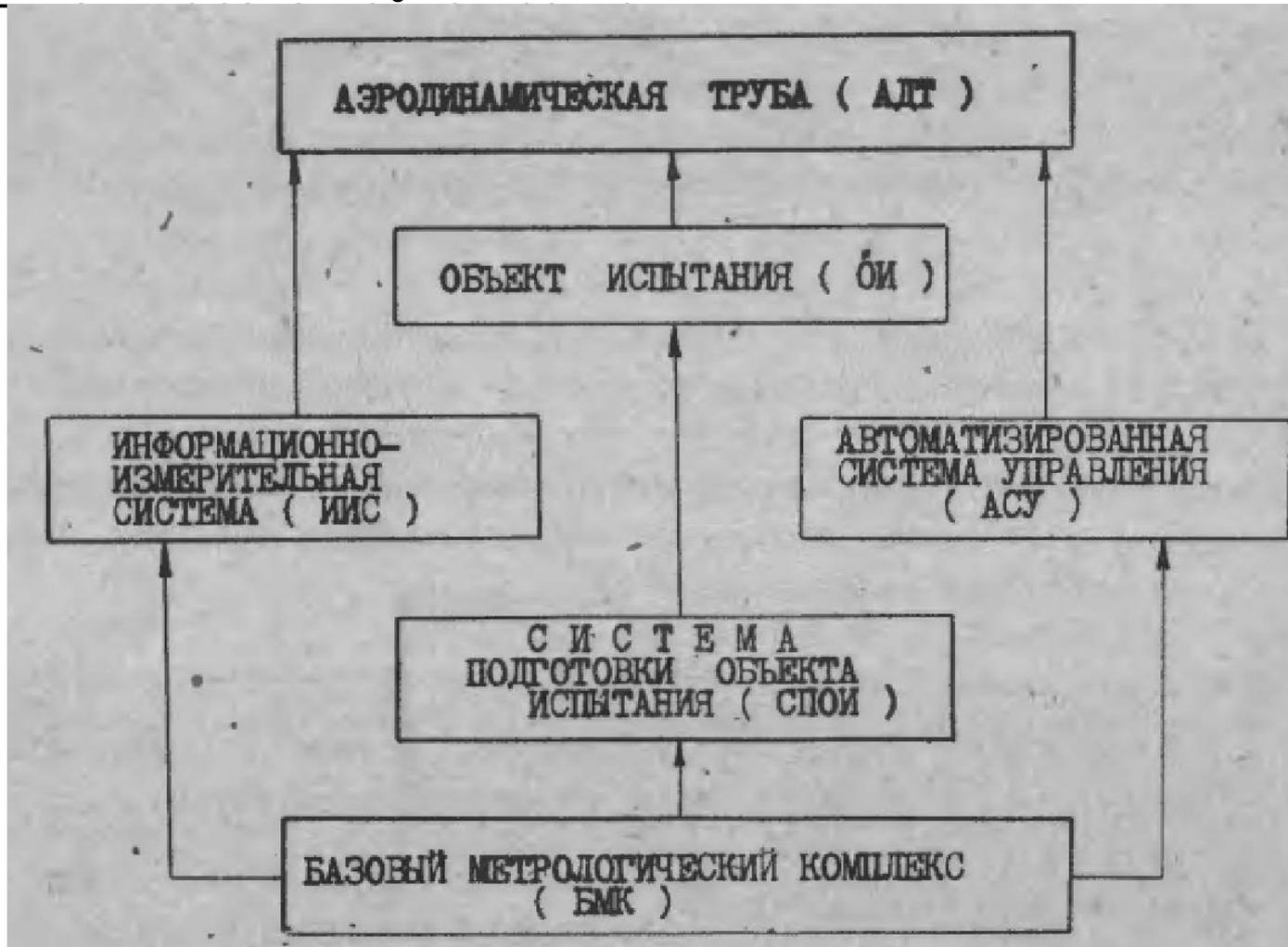
Испытания являются более общим понятием по сравнению с измерениями, которые служат наиболее распространенным способом получения информации при испытаниях.

Важнейшим признаком испытаний является создание моделируемых условий, которые включают воспроизведение режимов функционирования объекта испытания. Как правило, условия испытания задаются, а точность их воспроизведения и поддержания нормируется. Основным признаком испытаний является принятие по их результатам определенных решений. Документом, задающим условия, нормы точности воспроизводимости результатов испытаний, является методика выполнения испытаний.

Характеристиками качества испытаний, определяющими доверие к их результатам, является воспроизводимость этих результатов при повторных испытаниях, проверяемая при испытаниях так называемых контрольных (образцовых) объектов испытания. В качестве контрольных объектов испытаний используются аттестованные образцовые модели летательных аппаратов.

# СТРУКТУРА АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

Современный аэродинамический испытательный комплекс включает ряд функциональных структур, обеспечивающих получение результата испытаний.



## **В структуру аэродинамического испытательного комплекса входят:**

- аэродинамическая труба (АДТ), представляющая собой испытательную установку, в рабочей части которой создается поток рабочего газа с заданными параметрами;
- объект испытания (ОИ) - модель летательного аппарата или его элементов (крыло, воздухозаборники т.п.), а также различные, пневматические измерительные устройства (приемники воздушного давления и др.);
- информационно-измерительная система (ИИС), представляющая собой многоканальную измерительную структуру;
- автоматизированная система управления (АСУ), состоящая из устройств задания сигналов управления и исполнительных механизмов, обеспечивающих воздействие, на объект испытания и его среду и воспроизведение режимов его функционирования,
- система подготовки объекта испытания (СПОИ), состоящая из стендов определения геометрических параметров объекта испытания, подготовки термо-, пневмо-, электроизмерительных устройств и средств связи отдельных функциональных структур;
- базовый метрологический комплекс (БМК), включающий в себя программно-управляемые образцовые средства измерения и вспомогательные устройства для поддержания каналов ИИС и АСУ на заданном метрологическом уровне.

## **Моделирование условий испытания в аэродинамических трубах**

Моделирование условий испытания в аэродинамических трубах связано с необходимостью решения разнообразных и сложных задач, с наличием большого числа взаимодействующих факторов, различных по природе и силе воздействия.

Объект испытания, представляющий собой геометрически подобную натурному летательному аппарату модель, помещается в рабочей части аэродинамической трубы.

Условия, в которых находится объект испытания, существенно отличаются от натуральных. Сказывается влияние границ потока, объект испытаний подвергается воздействию разного рода детерминированных и случайных факторов, присущих данной экспериментальной установке и условиям опыта. Так, например, на результаты испытаний оказывают влияние конструкция поддерживающего объект испытания устройства, неравномерность потока и атмосферные условия, колебания входного напряжения речекродвигателя компрессора, акустические воздействия и т. п.

Процесс моделирования можно условно разбить на ряд этапов, каждый из которых требует тщательной методической подготовки, четкого планирования и организации.

**На первом этапе** в соответствии с целями и задачами исследования тщательно анализируется априорная информация для правильного выбора математической модели.

На этом этапе, вырабатывается план эксперимента, выбирается число опытов и определяются условия их проведения, необходимые для решения поставленной задачи с требуемой точностью.

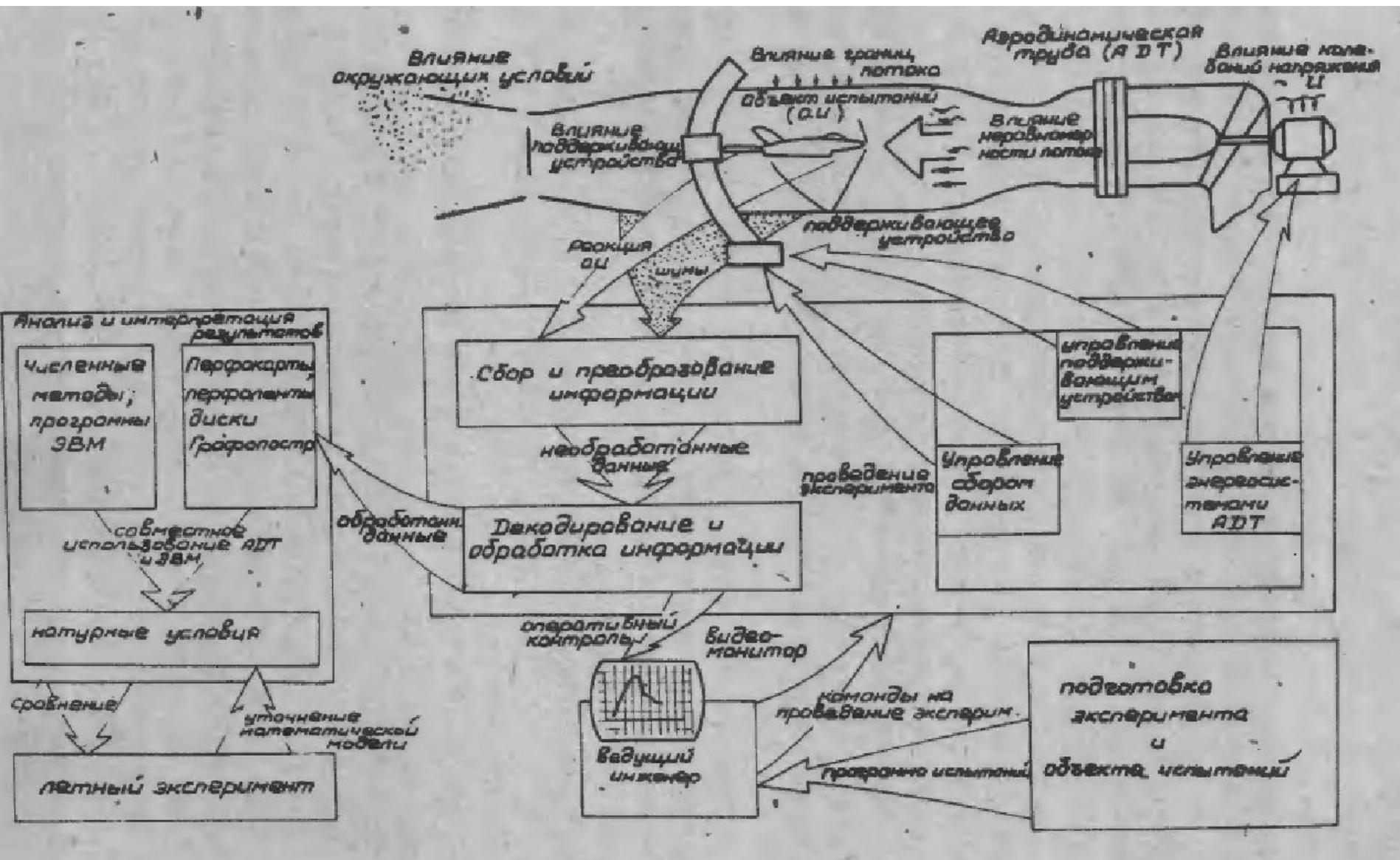
Составляется программа испытаний. Проверяются геометрические параметры объекта испытания, выбирается тип поддерживающего устройства и измерительная техника.

В соответствии с программой испытаний при помощи автоматизированной системы управления (АСУ) в рабочей части аэродинамической трубы создается воздушный поток заданной скорости, а поддерживающее устройство выводит объект испытания на предусмотренные программой углы атаки и скольжения.

Реакция объекта испытаний на воздействие потока воспринимается измерительными каналами информационно-измерительной системы (ИИС). Эта информация собирается и преобразуется в кодированные сигналы. Затем происходит декодирование, обработка и статистический анализ информации, экспериментальные материалы анализируются, сопоставляются с данными расчетов на ЭВМ.

Вносятся поправки, учитывающие переход к натурным условиям. Аэродинамические испытания связаны с огромным объемом измерений. Гарантированная точность результатов достигается системой метрологического обеспечения испытаний

# АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ МОДЕЛИРОВАНИЯ



# АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Аэродинамические испытания характеризуются;

- одновременностью измерения множества разнообразных физических величин, определяющих состояние объекта испытания и моделирующей среды;
- концентрацией множества результатов наблюдений в едином измерительном комплексе;
- измерениями, выполняемыми в условиях как стационарных, так и нестационарных процессов при наличии комплекса влияющих величин;
- сбором и обработкой результатов наблюдений с использованием специализированной измерительной и вычислительной техники;
- автоматизацией управления процессом испытания;
- повышением достоверности результатов испытаний путем создания методов и средств метрологического обеспечения процесса измерения.

Для решения этих задач созданы аэродинамические испытательные комплексы, включающие измерительные и управляющие системы. Эти системы должны обеспечивать возможность измерять различные физические величины с высокой точностью в широком диапазоне значений, обладать большой емкостью оперативной и внешней памяти вычислительных устройств при использовании сложных алгоритмов обработки, возможностью самонастройки и адаптации системы к программе испытаний.

В соответствии с этими требованиями и определился облик измерительных систем третьего поколения, используемых в аэродинамических трубах и газодинамических установках.

В состав таких систем входят ЭВМ, осуществляющие обработку поступающей информации и управление процессом измерения. Эти системы наряду с измерением, сбором и обработкой результатов наблюдений различных физических величин выполняют функции метрологического контроля, диагностики и управления экспериментальными исследованиями и получением результатов измерения.

Измерительные системы третьего поколения представляют собой сложные структуры - так называемые информационно-измерительные системы (ИИС), реализующие электрические методы измерения неэлектрических величин. С помощью таких ИИС обеспечивается автоматизированное получение измерительной информации при измерении изменяющихся во времени и распределенных в пространстве величин, характеризующих состояние объекта испытания и действующей на него моделируемой среды.

В процессе измерения собирают и обрабатывают измерительную информацию, регистрируют и графически интерпретируют результаты измерения, получают управляющие сигналы системы, обеспечивающие адаптацию её к программе испытаний.

Измерительные системы можно разделить на три вида: ИС последовательной структуры, ИС параллельной структуры, ИС

**В ИС последовательной структуры** измерительную информацию получают с помощью одного канала измерения.

Если измеряемая величина распределена в пространстве, то восприятие информации в таких системах выполняется с помощью одного так называемого сканирующего датчика.

Этот тип измерительных систем входит в более общий класс информационных систем, называемых сканирующими системами. Эти системы предназначены для исследования параметрических полей (температур, давлений, механических напряжений и т/п.). Сканирующие системы дают количественную оценку значений этих параметров в заданной системе координат. С целью улучшения отдельных характеристик измерительной системы, например, (быстродействия) преобразуют сканируемую величину в промежуточную физическую величину (например, в электрический сигнал). Траекторию сканирующего опроса можно заранее жестко запрограммировать (пассивное сканирование) либо изменять в зависимости о полученной в процессе сканирования информации (активное сканирование). В отличие от других систем в сканирующих системах канал измерения используется многократно. Ввиду этого должна быть обеспечена стабильность метрологических характеристик измерительного канала. Такие системы получили распространение в аэродинамических трубах при измерении распределения давления по поверхности модели и при измерении аэродинамических нагрузок.

**ИС параллельной структуры** используются для измерения множества однородных и разнородных физических величин аэродинамического эксперимента. В этом случае измерение осуществляется одновременно с помощью ряда измерительных каналов.

В настоящее время такие системы используются для измерения распределения давления и температур по поверхности модели или аэродинамическому контуру, для определения деформационных характеристик упругого контура. В этих системах применяются различного типа датчики, преобразующие измеряемые величины в электрические сигналы. Новое развитие такие системы получили при использовании модулей давления, содержащих группы датчиков давления, включенных в единую схему измерения.

В ИС аэродинамического испытательного комплекса находят применение **ИС последовательно-параллельной структуры.**

Известны три направления создания таких систем;

1. Структура измерительной системы нормируется при одновременном использовании многоканальных и сканирующих систем.
2. Структура измерительной системы включает каналы измерения, которые имеют участки последовательной и параллельной структуры.
3. Использование структур первого и второго типов

## Метрологическое обеспечение аэродинамических испытаний

Основой метрологического обеспечения аэродинамических испытаний является метрологическая аттестация аэродинамического испытательного комплекса с целью получения гарантированной точности результатов испытаний.

Метрологическая аттестация включает:

- 1) аттестацию измерительных каналов ИИС, сканирующих устройств и автоматизированной системы управления (АСУ) с целью установления допустимых отклонений; их метрологических характеристик;
- 2) аттестацию геометрических параметров аэродинамического контура, параметров моделируемой среды, пневмо- и термоприемников с целью установления допустимых отклонений параметров моделируемых режимов;
- 3) аттестацию методик метрологических испытаний средств измерений, испытаний образцовых (контрольных) объектов, аттестацию методик выполнения измерений при типовых испытаниях (на распределение давления и т.п.) с целью обеспечения воспроизводимости испытаний.

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

БАЗОВЫЙ  
МЕТРОЛОГИЧ.  
КОМПЛЕКС

МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ  
АТТЕСТАЦИЯ  
АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО КОМПЛ.

МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ  
АТТЕСТАЦИЯ  
КАНАЛОВ ИЗМЕРЕНИЯ  
И УПРАВЛЕНИЯ

МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ  
АТТЕСТАЦИЯ  
АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ  
ТРУБЫ

АТТЕСТАЦИЯ  
МЕТОДИК  
ВЫПОЛНЕНИЯ  
ИСПЫТАНИЙ

ИИС

СКАН.  
УСТР.

АСУ

ГЕОМ.  
ПАРАМ.

ПАРАМ  
МОДЕЛ.  
СРЕДЫ

ПНЕВМ.  
И  
ТЕРМО-  
ПРИЕМ.

МЕТРО-  
ЛОГИЧ.  
ИСП.

ИСП.  
ОБРАЗ  
ОБЪЕК-  
ТА

ТИПОВ  
ИСП.

УСТАНОВЛЕНИЕ  
ДОПУСТИМЫХ  
ОТКЛОНЕНИЙ  
МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК

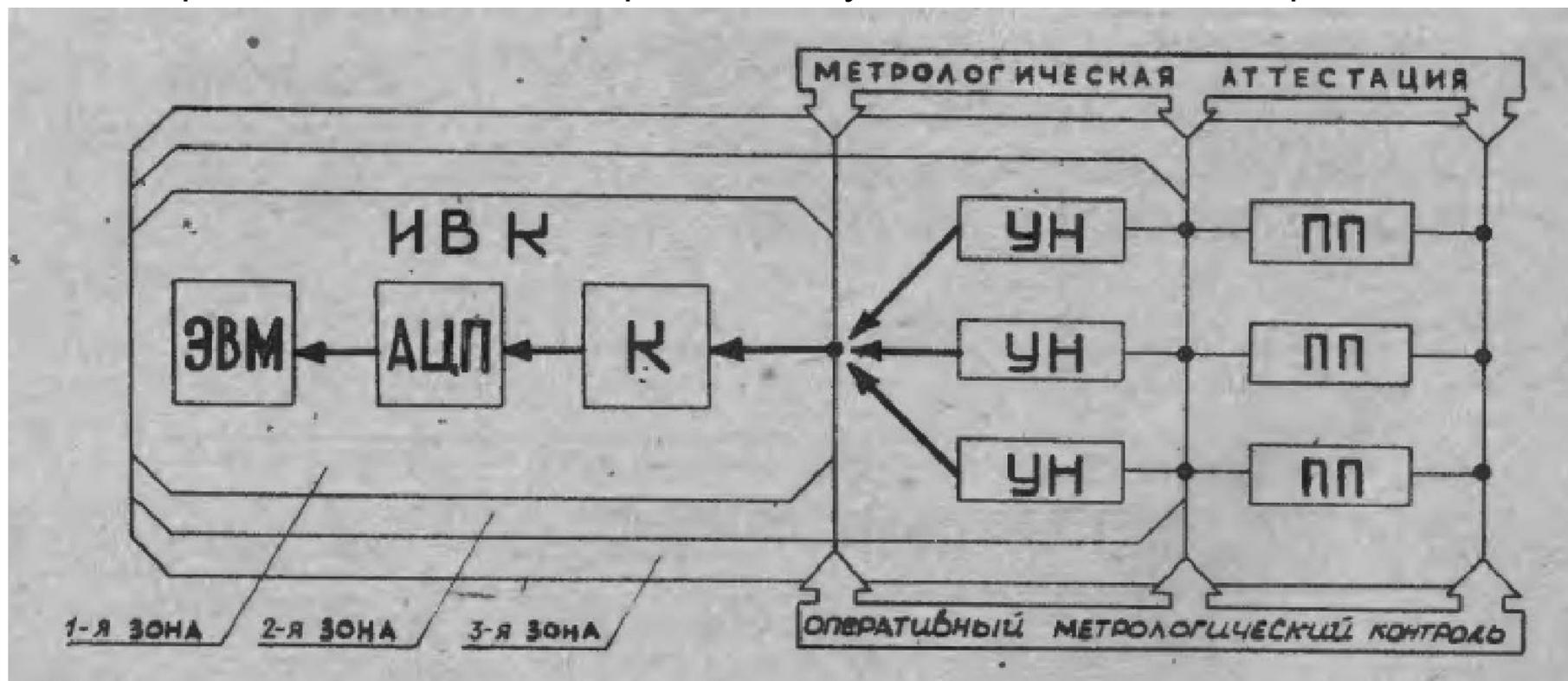
УСТАНОВЛЕНИЕ  
ДОПУСТИМЫХ  
ОТКЛОНЕНИЙ  
ПАРАМЕТРОВ  
МОДЕЛИРУЕМЫХ  
РЕЖИМОВ

ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
ВОСПРОИЗВОДИМОСТИ  
ИСПЫТАНИЙ

ГАРАНТИРОВАННАЯ ТОЧНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТА  
АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

## Метрологическая аттестация измерительных каналов ИИС .

При формировании измерительных каналов ИИС определяют метрологические характеристики не только измерительного канала в целом, но и отдельных его участков. Такая необходимость возникает при периодическом изменении структуры ИИС с заменой первичных и промежуточных преобразователей различных физических величин. В соответствии с этим образцовые средства измерений при проведении метрологической аттестации должны обеспечивать формирование образцовых сигналов на различных участках каналов измерения.



1-я зона включает ИВК, в состав которого входит измерительный коммутатор (ИК), аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и ЭВМ со средствами отображения информации;

2-я зона включает ИВК и усилители-нормализаторы (УН) электрических сигналов;

3-я зона включает полный измерительный канал ИИС (ИВК, УН, ПП).

При определении метрологических характеристик измерительных каналов в 1-й и 2-й зонах используются образцовые средства электрических величин двух уровней, а в 3-ей зоне - тех величин, для измерения которых используются первичные измерительные преобразователи ПП.

Измерительные каналы ИИС располагаются обычно в различных условиях, характеризующихся соответствующими уровнями влияющих на результаты измерения факторов.

Так, например, измерительно-вычислительный комплекс (ИВК) располагают в специально оборудованном для этой цели помещении, в котором для обеспечения надежной работы ИВК и ЭВМ поддерживаются нормальные условия эксплуатации.

Усилители-нормализаторы (УН) с линиями связи размещаются в непосредственной близости от аэродинамической трубы, а ПП - в непосредственной близости от объекта измерений.

Используя ИВК в качестве средства сбора и переработки метрологической информации, можно определять метрологические характеристики каналов ИИС на месте эксплуатации как в нормальных, так и в рабочих условиях.

## **Метрологические испытания каналов измерения и управления включают:**

- метрологические исследования с целью установления допустимых пределов отклонений их метрологических характеристик;
- периодическую поверку этих каналов для определения соответствия величины погрешности аттестованных каналов допустимым пределам ее отклонений, установленных при метрологических исследованиях;
- оперативный метрологический контроль в процессе выполнения аэродинамических испытаний с целью установления соответствия величины погрешности результата измерения допустимым пределам ее отклонений.

Метрологические испытания проводятся с использованием образцовых средств базового метрологического комплекса.

## Метрологическая аттестация аэродинамической трубы

Метрологическая аттестация аэродинамической трубы включает

- аттестацию геометрических параметров аэродинамического контура
- аттестацию параметров моделируемой в рабочей части среды
- аттестацию пневмоприемников для измерения параметров моделируемой среды.

При аттестации геометрических параметров проводится внешний осмотр аэродинамического контура трубы. Выявляется наличие вмятин, выбоин и других дефектов, ухудшающих состояние аэродинамического контура

При внешнем осмотре форкамеры и закрытой рабочей части особое внимание обращается на наличие выступов в местах стыка сопла с рабочей частью, а также на состояние приемных отверстий приемников полного и статического давления.

Относительно реперных точек устанавливаются оси координат рабочей части.

При аттестации определяются размеры и сопла в критическом сечении и в ряде сечений.

## Аттестация воздушного потока

При аттестации воздушного потока в контрольных сечениях, рабочей части аэродинамических труб малых дозвуковых скоростей (до 120 м/с) определяются:

- диапазон скоростей и стабильность скорости потока во времени
- распределение (градиент) статического давления по оси трубы;
- поля динамических давлений (скоростных напоров) и коэффициенты полей скоростных напоров и скорости
- поля скосов потока (косина потока)
- динамические возмущения потока без модели.

При аттестации аэродинамических труб по динамическим параметрам используются термоанемометры с блоком ограничительных, фильтров и интегрирующими регистраторами выходного сигнала, конденсаторные микрофоны с прогивоветровыми насадками, анализаторы частот. Объем и методика исследований оговариваются в программе метрологической аттестации.

## Аттестация приемников воздушного давления

Аттестация приемников воздушного давления (ПВД) проводится методом сличения аттестуемого приемника с образцовым приемником, располагаемым в одном из контрольных сечений рабочей части. Приемники располагаются на равных расстояниях от геометрической оси рабочей части. Проводится десятикратное сличение приемников (за один цикл испытаний) при нулевых углах атаки и скольжения ( )

Для ряда значений скорости потока в рабочей части от  $V_{\min}$  до  $V_{\max}$ . Результаты наблюдений определяются при одних и тех же значениях скорости потока в каждом цикле испытаний при ее увеличении (прямой ход) и уменьшении (обратный ход).

Для исключения систематической составляющей погрешности, вызываемой неравномерностью характеристик потока по сечению рабочей части, образцовый и исследуемый приемники меняют местами и проводят повторное десятикратное сличение (2-й цикл испытаний). По результатам наблюдений, полученных при аттестации, определяется обобщенный скоростной коэффициент характеристики приемника для ряда фиксированных скоростей .

$$\xi = f(V)$$

# БАЗОВЫЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

В аэродинамическом испытательном комплексе испытания проводятся с использованием информационно-измерительных систем (ИИС), которые получают и анализируют измерительную информацию, а также управляют процессом моделирования.

Высокая точность и метрологическая надежность результатов измерений обеспечиваются базовым метрологическим комплексом (БМК), сформированным на основе программно-управляемых образцовых средств и вспомогательных устройств, объединенных системой сбора и обработки метрологических характеристик каналов ИИС.