

УДК 681.2.083.8:536.5:531.781.087.61

Группа Т88.2

## ОТРАСЛЕВОЙ СТАНДАРТ

ОСТ 1 00418-81

### ОТРАСЛЕВАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

На 30 страницах

Метод и средства определения  
динамических характеристик датчиков температур  
газовых потоков

Введен впервые

Проверено в 1989 г.

ОКСТУ 7543

Распоряжением Министерства от 20 мая 1981 г.

№ 087-16

срок введения установлен с 1 января 1982 г.

Настоящий стандарт устанавливает метод и средства определения динамических характеристик датчиков температур сопротивления и термоэлектрических, предназначенных для измерения температур газового потока при исследованиях, испытаниях и эксплуатации изделий авиационной техники (в дальнейшем изложении - датчики).

В-В/распоряжением 231 от 26.10.90/разраб. о.ч.40

Издание официальное

ГР 8208744 от 09.06.81

Перепечатка воспрещена

|              |       |
|--------------|-------|
| № изм.       | 1     |
| № изв.       | 11312 |
| Изм. №       | 4537  |
| № подлинника |       |

3 annexes приказанием 404 от 20.07.82/разраб. о.ч.40

## 1. ОПЕРАЦИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

- внешний осмотр датчиков - п. 4.1;
- регистрация выходного сигнала чувствительных элементов датчиков - пп. 4.2

## 2. СРЕДСТВА ОПРЕДЕЛЕНИЯ

- образцовые манометры по ГОСТ 6521-81 - для измерения статического, полного давления или динамического напора потока;
- образцовый термометр 3-го разряда по ГОСТ 8.080-80 - для измерения температуры потока;
- потенциометр постоянного тока класса точности 0,05 по ГОСТ 9245-81 с верхним пределом измерения не более 50 мВ и ценой ступени младшей измерительной декады не более  $10^{-3}$  мВ - для измерения термоэлектродатчиков термоэлектрических и разбаланса измерительного моста датчиков сопротивления;
- осциллограф светолучевой по ГОСТ 9828-81 с вибраторами типов М 004/015 и М 017/150 - для регистрации выходного сигнала датчиков с показателями тепловой инерции менее 10 с;
- установка газовая (воздушная) со стабильными параметрами потока в месте размещения испытуемых датчиков - для охлаждения (нагрева) датчиков при температуре и заданных статическом давлении и скорости потока;
- устройство предварительного нагрева (охлаждения) испытуемых датчиков;
- устройство, обеспечивающее ступенчатую подачу нагрева (охлаждения) потоком испытуемых датчиков.

Неравномерность полей параметров потока в рабочем сечении и нестабильность их поддержания на режиме определения переходной характеристики не должны превышать  $\pm 1\%$  от перепада полного торможения – по температуре и от динамического напора – по давлению.

**2.3. Устройство предварительного нагрева (охлаждения) испытываемых датчиков**  
относительно температуры газового потока должно обеспечивать глубину погружения

Диапазон изменения температуры испытуемых датчиков в устройстве предварительного нагрева (охлаждения) относительно температуры потока должен соответствовать задачам испытаний.

2.5. Газовая (воздушная) установка, укомплектованная устройством предварительного нагрева (охлаждения), устройством его подачи на испытуемые датчики образцовыми и регистрирующими приборами, а также эксплуатационной документацией (техническим описанием, паспортом и инструкцией по эксплуатации), допускается к применению только после ее метрологической аттестации в соответствии с требованиями ГОСТ 8 326-78.

- периодической поверки образцовых и регистрирующих средств измерений, входящих в состав установки;
- проверки сходимости результатов определения показателя тепловой инерции по контрольным датчикам;
- проверки времени реализации ступенчатой подачи нагрева (охлаждения) датчиков;
- проверки стабильности поддержания параметров газового потока.

2.7. Периодическая поверка образцовых и регистрирующих средств измерения, входящих в состав установки, осуществляется в соответствии с требованиями ГОСТ 8.513-84.

2.8. Для проверки сходимости результатов определения динамических характеристик на установке выполняют двукратное определение показателя тепловой инерции по контрольным термометрам. Результаты, полученные при двукратном определении, не должны расходиться больше чем на основную суммарную погрешность определения показателя тепловой инерции  $\Delta_{\text{сум}}$ .

2.9. Проверку времени реализации ступенчатой подачи нагрева (охлаждения) выполняют по п. 2.8 при регистрации переходной характеристики контрольных датчиков. Результаты двукратного определения времени ступенчатой подачи устройством нагрева (охлаждения) не должны расходиться больше чем на погрешность регистрации отметки времени осциллографа  $\Delta \tau_p$ .

2.11. Технические характеристики средств определения динамических характеристик датчиков приведены в справочном приложении 1.

3.1. При проведении эксперимента должны соблюдаться следующие условия:

- температура воздуха в помещении с измерительной аппаратурой должна быть  $(25 \pm 10)^\circ\text{C}$  и не должна изменяться больше чем на  $1^\circ\text{C}$  в течение 1 ч работы;
- относительная влажность в помещении должна быть не более 80%;
- действие вибрации в помещении не должно вызывать колебания наиболее чувствительного средства измерений с амплитудой колебания более  $1/4$  цены деления его шкалы;
- в помещении не должно быть пыли, дыма, газов и паров, вызывающих загрязнение деталей измерительных приборов и регистрирующей аппаратуры.

- подготовка средств нагрева и охлаждения испытуемых датчиков;
- подготовка регистрирующей аппаратуры для записи показаний выходного сигнала датчиков в переходном процессе.

- установить постоянный расход газового потока в установке, обеспечивающий скорость потока в рабочем сечении согласно задаче испытания;
- установить в устройстве предварительного нагрева (охлаждения) подогрев (охлаждение), произвести опробование датчиков (п. 4.2) и убедиться в достижении установившейся повышенной (пониженной) температуры испытуемых датчиков согласно задаче испытания;
- включить устройство ступенчатой подачи нагрева (охлаждения), проверить его исправность.

3.5. Отметка времени и скорость протяжки диаграммной бумаги в осциллографе должны выбираться из условия ожидаемого показателя тепловой инерции датчиков.

Отметка времени не должна быть более 0,1 значения показателя тепловой инерции датчиков  $\xi_{\text{вз}}$ .

Интервал между двумя отметками времени не должен быть менее 0,25 м

3.6. Значения показателя тепловой инерсии датчиков  $\varepsilon_{63}$  приведены в справочном приложении 2.

#### 4. ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРЕХОДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ

##### 4.1. Внешний осмотр датчиков

4.1.1. При внешнем осмотре датчиков должно быть установлено соответствие требованиям, которые предъявляются в документации к их внешнему виду. Замечания о несоответствии этим требованиям должны быть занесены в протокол, оформление которого приведено в обязательном приложении 3.

4.1.2. Испытуемые датчики должны быть исправными (годными к эксплуатации) и иметь статическую градуировку в соответствии с ГОСТ 8.338-78.

##### 4.2. Опробование датчиков

4.2.1. Испытуемые датчики поставить в рабочее сечение установки. Глубина погружения и положение входных отверстий штуцеров или камер торможения должны соответствовать рабочим в условиях эксплуатации.

Примечание. Затенение рабочего сечения установки испытываемыми датчиками более 10% сечения не допускается. При большем затенении параметры динамической характеристики не будут достоверны.

4.2.2. Исправные испытываемые датчики присоединить к измерительной схеме с выводом сигнала на переключатель для подачи его на потенциометр или вибратор осциллографа.

4.2.3. На испытываемые датчики надвинуть устройство предварительного нагрева (охлаждения) и наблюдать за изменением температуры по показаниям потенциометра.

4.2.4. По достижении установившейся температуры испытываемых датчиков включить осциллограф на режим регистрации.

##### 4.3. Определение переходной характеристики

4.3.1. При регистрации начальной установившейся температуры испытываемых датчиков включить устройство ступенчатой подачи охлаждения (нагрева) на датчики.

4.3.2. Регистрацию показаний испытываемых датчиков продолжать до наступления установившейся температуры датчиков в газовом потоке.

4.3.3. При регистрации показаний испытываемых датчиков наблюдать показания приборов, измеряющих статическое давление, полное давление или динамический напор потока, и записать в протокол.

4.3.4. При работе с электроизмерительной и регистрирующей аппаратурой необходимо соблюдать требования безопасности, указанные в эксплуатационной документации на них.

#### 5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

5.1. Вычислить значения температуры испытываемых датчиков в зарегистрированном переходном процессе с помощью статической градуировки датчиков и градуировки отклонений вибратора осциллографа.

Квантование кривой зарегистрированного переходного процесса должно отвечать требованиям п. 3.5 и ординаты выбираться на отметках времени. При линейной градуировочной характеристике датчиков и линейной зависимости отклонений вибратора от подаваемого на вход сигнала эти вычисления не производят.

5.2. Представить зарегистрированную по п. 4.3 характеристику в виде функции относительного изменения температуры испытуемых датчиков от времени:

$$y = \frac{t_1 - t_\theta}{t_1 - t_2} = f(\theta),$$

где  $t_1$  - температура датчика при начальной установившейся температуре среды;  
 $t_2$  - температура датчика при конечной установившейся температуре среды;  
 $t_\theta$  - температура датчика в момент времени  $\theta$ .

5.3. Зависимость по п. 5.2 обработать для получения коэффициентов выражения, аппроксимирующего суммой экспонент переходную характеристику испытуемых датчиков:

$$y = \frac{t_1 - t_\theta}{t_2 - t_\theta} = 1 - \sum_{i=1}^n A_i e^{-\frac{\theta}{\tau_i}}.$$

5.4. Определение параметров переходной характеристики графоаналитическим методом приведено в справочном приложении 4.

5.5. Алгоритм программы обработки функции переходного процесса датчиков и определение динамической характеристики приведены в справочном приложении 5.

5.6. Показатель тепловой инерции испытуемых датчиков  $\tau_{63}$  определить как время от начала переходного процесса до ординаты, равной  $y_{63} = (1 - 0,631)(t_1 - t_2)$ , т.е. время, за которое температура датчиков изменилась на 63%. В справочном приложении 6 приведен пример определения  $\tau_{63}$ .

5.7. Из результатов измерений и обработки, выполненных в соответствии с пп. 4.3 и 5.1 - 5.6, вычисляют средние значения показателя тепловой инерции и параметров переходной характеристики.

5.8. Для каждого чувствительного элемента испытуемых датчиков определяют разность между средним и индивидуальным значениями вычисленных параметров экспериментально-расчетным способом.

Разность этих значений как для одного чувствительного, так и нескольких идентичных в общем штучере датчиков должна быть в пределах погрешности определения соответствующего параметра.

5.9. Датчики, не удовлетворяющие требованию п. 5.8, должны быть подвергнуты повторным 3-кратным испытаниям по пп. 4.3 и 5.1 - 5.6. При повторении отрицательных результатов датчики по динамической характеристике бракуются.

№ изм  
№ изв

4537

Инв № дубликата  
Инв № подлинника

## 6. ПОГРЕШНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

6.1. Погрешность определения переходной характеристики и показателя тепловой инерции складывается из погрешностей:

- регистрации амплитуды вибратором светолучевого осциллографа  $\delta \varepsilon_p$  ;
- регистрации отметки времени осциллографом  $\delta \Delta \vartheta_p$  ;
- отсчета длин отрезков на осциллограмме (амплитуд, отметок времени)  $\delta \varrho_p$  ;
- измерения (определения) и поддержания параметров газового потока за период регистрации переходного процесса:

$\delta p_{ст}$  - статического давления;

$\delta w$  - скорости;

$\delta p^*(\delta \vartheta_p)$  - полного давления;

$\delta t$  - температуры полного торможения.

6.2. Погрешности регистрации амплитуд выходного сигнала испытуемых датчиков и отметки времени осциллографом указываются в технических данных осциллографа и вибратора.

6.3. Отсчет длин отрезков на осциллограмме производится при обработке переходной характеристики по пп. 5.2, 5.3, 5.4, 5.6. Погрешность отсчета носит субъективный характер. Максимальная погрешность отсчета длины отрезка оценена

$$\delta \vartheta = \pm 0,5 \text{ мм.}$$

6.4. Погрешность измерения полного давления, динамического напора, температуры потока находятся из технических данных измерительных приборов.

6.5. Суммарная относительная погрешность определения показателя тепловой инерции и параметров переходной характеристики рассчитывается как среднее квадратическое отклонение из суммы квадратов составляющих относительных погрешностей со своими коэффициентами влияния:

$$\frac{\delta \varepsilon_i}{\varepsilon_i} = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial \varepsilon_i}{\partial w}\right)^2 \left(\frac{\delta w}{w}\right)^2 + \left(\frac{\partial \varepsilon_i}{\partial p_{ст}}\right)^2 \left(\frac{\delta p_{ст}}{p_{ст}}\right)^2 + \left(\frac{\delta \varepsilon_{осц}}{\varepsilon_i}\right)^2},$$

где  $\left(\frac{\partial \varepsilon_i}{\partial w}\right)\left(\frac{\delta w}{w}\right)$  - относительная составляющая погрешность в определении значения  $\varepsilon_i$  от погрешности скорости потока;

$\left(\frac{\partial \varepsilon_i}{\partial p_{ст}}\right)\left(\frac{\delta p_{ст}}{p_{ст}}\right)$  - относительная составляющая погрешность в определении значения  $\varepsilon_i$  от погрешности статического давления потока;

$\frac{\delta \varepsilon_{осц}}{\varepsilon_i}$  - относительная погрешность в определении из осциллограммы  $\varepsilon_i$  переходного процесса;

№ изм  
№ изв

4537

Инв № дубликата  
Инв № подлинника

|                   |      |
|-------------------|------|
| Инв. № дубинката  |      |
| Инв. № подлинника | 4537 |

В-В распоряжением 23/от 26.10.90/рат рад. 9.40



## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Справочное

# ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДСТВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКОВ

## 1. КРАТКОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ВОЗДУШНОЙ УСТАНОВКИ УВ-010

1.1. Установка УВ-010 предназначена для экспериментального определения переходных характеристик – полных динамических характеристик датчиков, применяемых на объектах авиационной техники (с показателем тепловой инерции  $\varepsilon_{\Sigma} \geq 0,5$  с).

1.2. Структурная схема установки УВ-010 представлена на черт. 1.

Вертикально расположенное сопло 1 расширяющимися трубопроводами 2, 4 соединено с центробежными вентиляторами 3, 5. Приводные моторы 6, 7 вентиляторов работают от сети переменного тока напряжением 380 В мощностью по 7,5 кВт каждый. В начальном участке соединительного трубопровода 4 установлена поворотная заслонка 8 для регулирования расхода воздуха и, следовательно, скорости потока в рабочем сечении сопла. Для организации потока в зоне измерения температуры полного торможения на входном сечении сопла 1 установлен патрубок 9 длиной 450 мм, расположенный конусной частью в сторону сопла и цилиндрической – к входу потока, с диаметром на входе 400 мм и 186 мм – на выходе. Вся входная часть закрыта фильтром 10, имеющим диаметр 800 мм и высоту 850 мм. Включение установки, регулирование скорости потока, нагрев электрических печей, ввод и сдвигивание печей пневмоприводом производится с пульта управления 11.

1.3. Структурная схема рабочей части установки УВ-010 представлена на черт. 2.

Сопло 1 с цилиндрическим измерительным участком 100 мм имеет внешние площадки с отверстиями для монтажа поверяемых датчиков 2, пневмопривода 3, нагревательных печей 4, 5, устройства для отбора статического давления 7.

Отбор статического давления проводится через отверстия диаметром 1 мм на стенках сопла в четырех сечениях его рабочего участка. Статическое давление, осредненное по сечениям, подводится к водяному манометру 6.

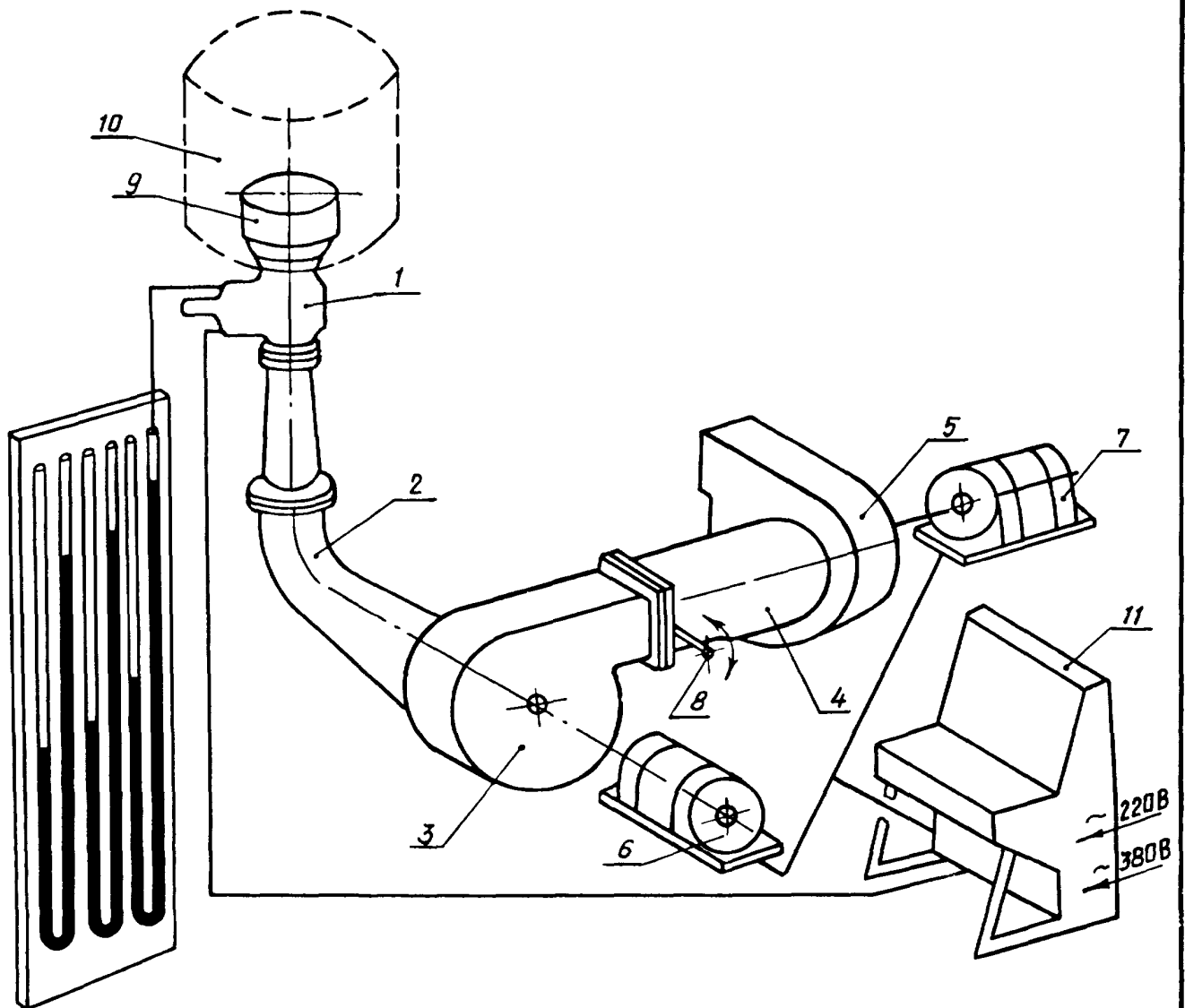
Вход сопла 1 (со стороны забора воздуха) выполнен по лемнискате. Внутренние стенки сопла отполированы. Снаружи сопло теплоизолировано для уменьшения теплообмена с окружающим пространством. Для нагрева испытуемых датчиков используются нагревательные печи 4, 5 трубчатого типа. Их внутренние размеры определяются размерами испытуемых датчиков. Сдвигивание печи с испытуемых датчиков осуществляется с помощью пневмопривода 3 за время 0,1 с. Пневмопривод 3 расположен на одном кронштейне с печами и приводит в возвратно-поступательное движение либо печь 5, либо печь 4. Пневмопривод работает от воздушной магистрали  $P=400$  кПа (4 кгс/см<sup>2</sup>).

№ изм.  
№ изв.

4537

Инв. № дубликата

Инв. № подлинника



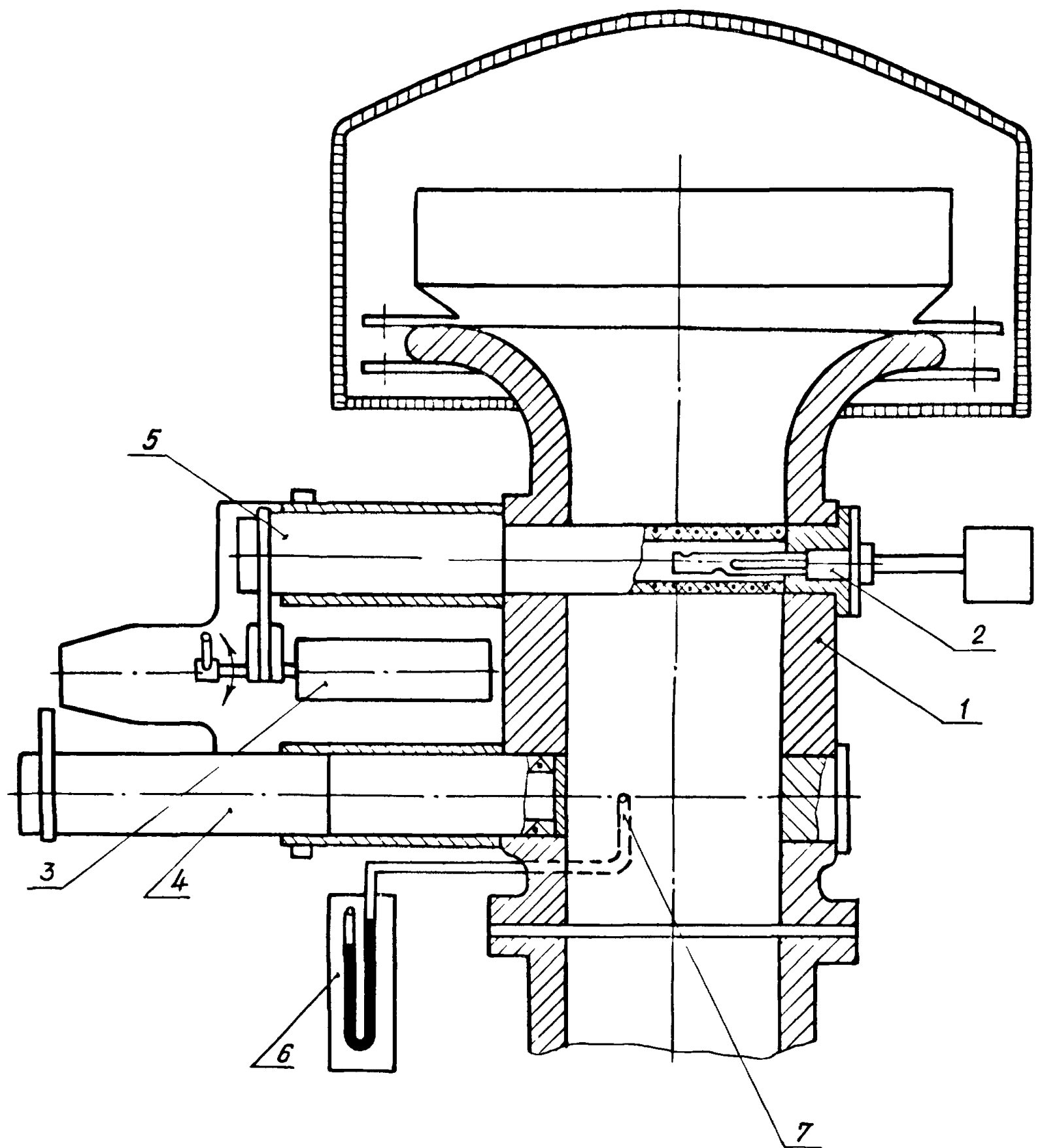
1 - сопло; 2, 4 - трубопроводы; 3, 5 - центробежные вентиляторы; 6, 7 - приводные моторы; 8 - поворотная заслонка; 9 - патрубок; 10 - фильтр; 11 - пульт управления

Черт. 1

№ изм  
№ изв

4537

Инв. № дубликата  
Инв. № подлинника



1 - сопло; 2 - датчик, 3 - пневмопривод; 4, 5 - нагревательные печи; 6 - водяной манометр; 7 - устройства для отбора статического давления

Черт. 2

№ изм  
№ изм

4537

Инв № дубликата  
Инв № подлинника





гистрала, с другой – съемный наконечник с профилированным соплом. Предусмотрены четыре исполнения сопла в зависимости от типа и размеров испытываемых датчиков.

Пневмоклапан отсекает от испытываемых датчиков струю горячего воздуха из нагревателя. Подача струи горячего воздуха на испытываемые датчики осуществляется при открытии клапана, когда воздух из магистрали поступает в поршневую камеру и по достижении в ней давления около 300 кПа (3 кгс/см<sup>2</sup>) поршень приходит в движение, перекрывая в сопле выход холодной струи.

Координатным устройством крепятся и перемещаются в трех плоскостях испытываемые датчики и комбинированный насадок, контролирующий и измеряющий температуру и скорость воздушной струи из нагревателя. Комбинированный насадок имеет трубку полного напора с внутренним диаметром 0,3 мм и термолару ТХА диаметром 0,12 мм из термопарного микрокабеля, наружный диаметр микрокабеля 1,0 мм.

Манометром на 3 кПа (300 мм вод. ст.) измеряется перепад медленно меняющихся давлений воздуха при  $P_{СТ}$  до 100 кПа (1 кгс/см<sup>2</sup>).

### 2.3. Технические данные УГТИЗ следующие:

- максимальная скорость струи из нагревателя 60 м/с при нагреве силой тока 6 А и на расстоянии 5–10 мм от среза сопла нагревателя;
- максимальная температура струи из нагревателя 360 °С при нагреве силой тока 6 А и на расстоянии 5–10 мм от среза сопла нагревателя;
- колебания температуры и скоростного напора в сечении воздушной струи  $\pm 2\%$  по отношению к среднему значению на расстоянии 5–10 мм от среза сопла нагревателя;
- рабочее давление в воздушной магистрали не менее 400 кПа (4 кгс/см<sup>2</sup>);
- время подачи горячей воздушной струи не более 0,001 с;
- минимальное давление, при котором срабатывает пневмоклапан, 280 кПа (2,8 кгс/см<sup>2</sup>);
- максимальная сила тока 6 А;
- напряжение питания 220 В;
- погрешность экспериментально-расчетного определения показателя тепловой инерции 0,0062–0,00063 с при доверительной вероятности  $P = 0,8$ .

№ изм  
№ изв

4537

Изм № дубликата  
Изм № подлинника







## 6. Результаты определения динамической характеристики

Таблица 3

| Определяемая величина   | № эксперимента (кадра) |   |   | Средние значения из трех экспериментов |
|---|------------------------|---|---|--|
|   | 1                      | 2 | 3 |  |
| Параметры газового потока:<br>скорость:<br>$w$<br>число $M$<br>статическое давление $P_{ст}$<br>температура $t$ |                        |   |   |  |
| Показатель тепловой инерции $\varepsilon_{63}$  |                        |   |   | $\bar{\varepsilon}_{63}$               |
| Разность среднего и индивидуального значений $\varepsilon_{63} - \bar{\varepsilon}_{63}$                        |                        |   |   |  |

Аналитическое выражение переходной характеристики

$$y = 1 - \sum_{l=1}^n A_l e^{-\frac{\theta}{\varepsilon_l}}$$

Таблица 4

| Значения параметров переходной характеристики |             |                       |             |                       |             | Разность индивидуального и среднего (из трех экспериментальных) значений параметров |                   |                                       |                   |                                       |                   |
|---|-------------|-----------------------|-------------|-----------------------|-------------|---|-------------------|---------------------------------------|-------------------|---------------------------------------|-------------------|
| $\varepsilon_1$                               | $A_1$       | $\varepsilon_2$       | $A_2$       | $\varepsilon_3$       | $A_3$       | $\varepsilon_1 - \bar{\varepsilon}_1$   | $A_1 - \bar{A}_1$ | $\varepsilon_2 - \bar{\varepsilon}_2$ | $A_2 - \bar{A}_2$ | $\varepsilon_3 - \bar{\varepsilon}_3$ | $A_3 - \bar{A}_3$ |
|   |             |                       |             |                       |             |   |                   |                                       |                   |                                       |                   |
|   |             |                       |             |                       |             |   |                   |                                       |                   |                                       |                   |
|   |             |                       |             |                       |             |   |                   |                                       |                   |                                       |                   |
| $\bar{\varepsilon}_1$                         | $\bar{A}_1$ | $\bar{\varepsilon}_2$ | $\bar{A}_2$ | $\bar{\varepsilon}_3$ | $\bar{A}_3$ |   |                   |                                       |                   |                                       |                   |

## 7. Заключение по результатам определения динамических характеристик

## 8. Исполнители

(должности, фамилии, имена, отчества, подписи)

№ изм

№ изв

4637

Изм № дубликата

Изм № подписанника

## ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Справочное

ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕХОДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ

1. Экспериментальные данные переходной характеристики, представленные в виде функции относительного измерения температуры испытуемых датчиков от времени, перестроить в прямолинейных полулогарифмических координатах:

- на оси ординат  $\ln y = \ln \frac{t_1 - t_\theta}{t_1 - t_2}$ ;

- ось абсцисс  $\theta$ .

2. Провести графически аппроксимацию полученных в п. 1 ординат отрезками прямых, начиная с конечного участка.

3. Вычислить котангенс угла наклона конечного прямолинейного участка к оси абсцисс. Модуль котангенса этого угла равен постоянной времени первой экспоненты  $\varepsilon_1$ .

4. Продолжить конечный прямолинейный участок до пересечения с осью ординат.

Ордината точки пересечения равна логарифму начальной амплитуды первой экспоненты  $\ln A_1$ .

5. Построить в полулогарифмических координатах (либо нанести на предыдущий) график разности экспериментальной переходной характеристики и ее конечного прямоугольного участка:

- по оси ординат  $\ln(y - y_1)$ ;

- по оси абсцисс  $\theta$ .

Здесь  $y_1 = A_1 e^{-\frac{\theta}{\varepsilon_1}}$ .

6. Повторить действия пп. 2, 3, 4.

В результате будут найдены значения постоянной времени второй экспоненты  $\varepsilon_2$  и логарифм ее начальной амплитуды  $\ln A_2$ .

7. Построить график (либо пользоваться тем же) разности значений ординат п. 5 и второй экспоненты в полулогарифмических координатах:

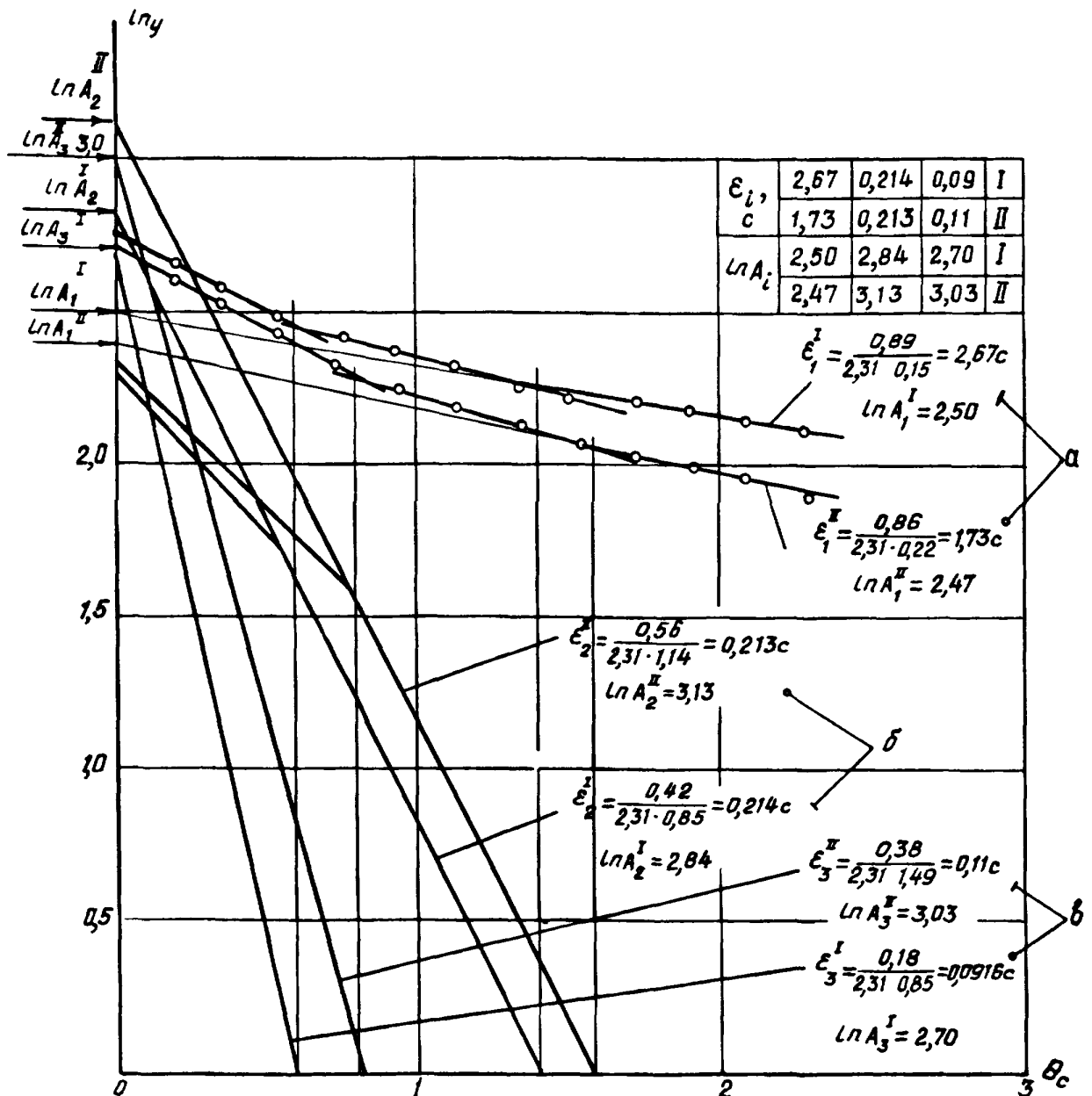
- по оси ординат  $\ln(y - y_1 - y_2)$ ;

- ось абсцисс  $\theta$ .

Здесь  $y_2 = A_2 e^{-\frac{\theta}{\varepsilon_2}}$ .

8. Повторить действия пп. 2, 3, 4. Так будут вычислены значения постоянной времени третьей экспоненты  $\epsilon_3$  и логарифмы ее начальной амплитуды  $\ln A_3$ .

9. Пример графоаналитического метода определения параметров переходной характеристики иллюстрируется на чертеже.



а - переходные характеристики термопар I и II в полупрологарифмических координатах;  
 б - графики разностей переходных характеристик I и II экспонент; в - графики разностей переходных характеристик и их первых двух экспонент

Приведена обработка кривых переходных процессов двух термопар из проволок Х-А диаметром 1,2 мм, расположенных в штуцере штатного серийного датчика типа Т-99. Индексами I, II обозначены первая и вторая термопары. Индексами 1, 2, 3 - первая, вторая, третья экспоненты переходных характеристик.

Примечание. Поскольку при регистрации использовались линейная часть градуировки X-A термпар и отклонений вибратора и нулевая линия на диаграмме была совмещена с показаниями  $t_2$ , переходная характеристика в относительной форме не перестраивалась.

10. Зарегистрированные переходные характеристики двух термопар датчика типа Т-99 имеют следующие аналитические выражения:

$$y_2 = 1 - \left( 12,18e^{-\frac{\theta}{2,67}} + 17,15e^{-\frac{\theta}{0,214}} + 14,95e^{-\frac{\theta}{0,11}} \right);$$

$$y_7 = 1 - \left( 11,85e^{-\frac{\theta}{1,73}} + 22,35e^{-\frac{\theta}{0,213}} + 20,90e^{-\frac{\theta}{0,11}} \right).$$

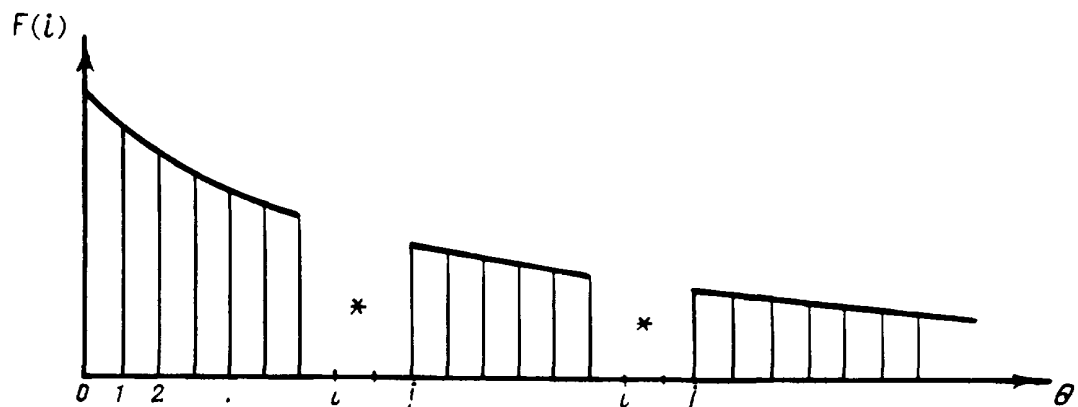
[illegible]

В-в распоряжение № 23 от 26.10.90, разраб. 0.40

ПРИЛОЖЕНИЕ 5  
Справочное

АЛГОРИТМ ПРОГРАММЫ ОБРАБОТКИ ФУНКЦИИ ПЕРЕХОДНОГО  
ПРОЦЕССА ДАТЧИКОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ  
ХАРАКТЕРИСТИКИ

1. Функция переходного процесса датчиков от времени приведена на графике  
черт. 1.



$F(i)$  – ордината зарегистрированной на осциллограмме функции переходного процесса в момент времени  $\theta_i$ ; \* – интервалы, в которых отсутствовали зарегистрированные ординаты

Черт. 1

2. Структура программы показана на черт. 2.

Этап 1

1. Ввод исходных данных
2. Дополнение отсутствующих элементов интерполяцией
3. Нормализация
4. Расчет размера участка

Этап 2

1. Расчет  $\gamma_1(i)$ ;  $c(i)$
2. Вычитание экспоненты из исходной функции

Этап 3

Выбор следующего участка для расчета  $\gamma_2(i)$  и  $c(i)$   
или  
выход из цикла

Этап 4

Расчет параметров передаточной функции

Конец

Черт. 2

№ изм  
№ изв

4537

Инв. № дубликата  
Инв. № подлинника

## 2.1. Пояснение к схеме:

## а) ввод исходных данных;

- из осциллограммы функции переходного процесса термопары выписывается ряд значений ординат согласно п. 5.1 или п. 5.2;

## б) дополнение отсутствующих элементов интерполяцией:

- просматриваются все элементы массива  $F[0..N]$ , начиная с элемента  $F[1]$ .

Если элемент  $F[i] = 0$ , то подсчитывается номер последующего ненулевого элемента  $j$ , рассчитывается постоянная времени  $\tau = (j-i+1) \Delta t / \ln(F[i-1]/F[j])$ ; и коэффициент  $H = F[i-1] / \exp(-(i-1) \Delta t / \tau)$  экспоненты  $H e^{-t/\tau}$ , проходящей через две ненулевые точки отсутствующего в исходных данных интервала;

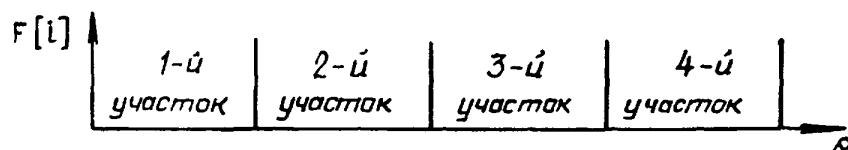
## в) нормализация:

- значения  $F[i]$  при изменении  $i$  от  $N$  до 0 делятся на  $F[0]$ ;

г) расчет  $\gamma_1[i]$  и  $C[i]$ :

где  $\gamma$  - величина, обратная постоянной времени экспоненты;

$C$  - коэффициент экспоненты (начальная амплитуда);



Расчет начинается с 4-го участка:

$\gamma[i]$  рассчитывается в процедуре  $\gamma[n, m]$ ,

где  $n$  - номер элемента начала участка;

$m$  - номер элемента конца участка.

На участке рассчитываются:

- значения для всех точек участка:

$$\xi[i] = F[i] / F[i-1];$$

- среднее арифметическое значение:

$$\xi_{cp} = \frac{\sum \xi[i]}{n-m};$$

- среднее квадратическое отклонение  $\xi[i]$  от  $\xi_{cp}$ :

$$Q = \sqrt{\frac{\sum (\xi[i] - \xi_{cp})^2}{(n-m-1)}},$$

- величина, обратная постоянной времени экспоненты:

$$\gamma_i = \ln(\xi_{cp}) / \Delta t; \quad i - \text{номер участка.}$$

Этот способ обеспечивает минимизацию среднее квадратической ошибки.

Далее для расчета  $C[i]$  также используется метод минимума среднее квадратической ошибки аппроксимации, который дает:

$$C[i] = \frac{\sum_p F[p] e^{-\gamma[i] t}}{\sum_p e^{-2\gamma[i] t_j}};$$

№ изм  
№ изв

4537

Изм № дубликата  
Изм № подлинника

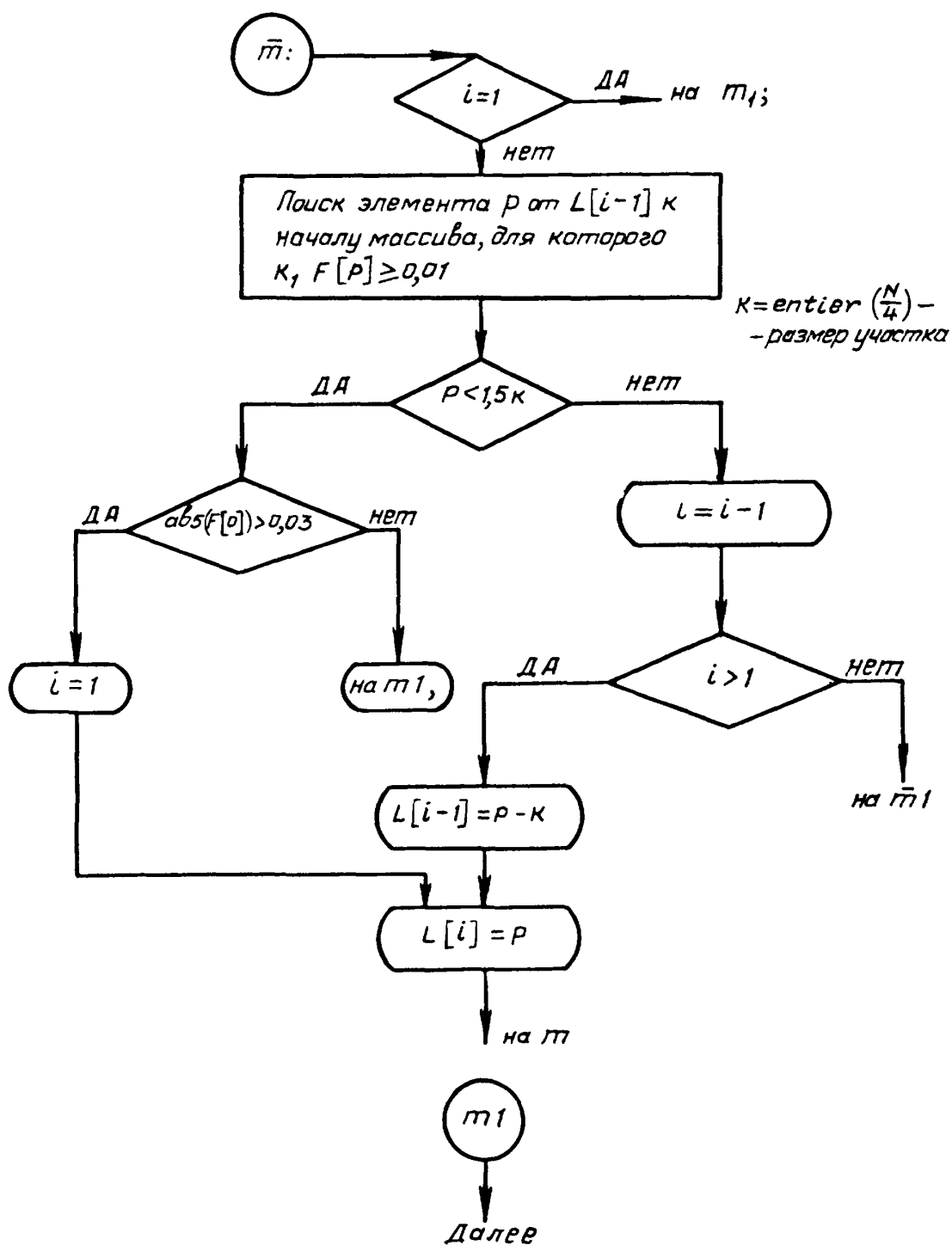
$\bar{c}[i]$  изменяется в диапазоне аппроксимирующего участка;

- вычитание найденной экспоненты из исходной функции.

Этим готовится функция для дальнейшего анализа ее. По окончании "извлечения" всех экспонент остаток будет представлять собою ошибку расчета;

- выбор участка для расчета  $y_2(i)$  и  $c(i)$ .

Работа этой части алгоритма поясняется на черт. 3;



№ изм  
№ изв

4537

Изм. № дубликата  
Изм. № подлинника

– расчет параметров передаточной функции.

По выполнению этапа 3 получено аналитическое уравнение переходной характеристики в виде суммы экспонент:

$$F_{\text{аппрокс}}(\theta) = C_1 e^{-\gamma_1 \theta} + C_2 e^{-\gamma_2 \theta} + C_3 e^{-\gamma_3 \theta} + C_4 e^{-\gamma_4 \theta};$$

$$F_{\text{аппрокс}}(p) = \frac{C_1}{p + \gamma_1} + \frac{C_2}{p + \gamma_2} + \frac{C_3}{p + \gamma_3} + \frac{C_4}{p + \gamma_4}.$$

В результате расчета некоторые коэффициенты  $C_i$  могут оказаться равными 0. Поэтому возможны следующие передаточные функции:

$$i=1 \quad w(p) = \frac{a_0}{(T_1 p + 1)};$$

$$i=2 \quad w(p) = \frac{a_1 p + a_0}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)};$$

$$i=3 \quad w(p) = \frac{a_2 p^2 + a_1 p + a_0}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)(T_3 p + 1)};$$

$$i=4 \quad w(p) = \frac{a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + a_0}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)(T_3 p + 1)(T_4 p + 1)}.$$

№ изм  
№ изв

4537

Инв. № дубликата  
Инв. № подлинника



1. На чертеже приведена осциллограмма переходных процессов (I, II) двух термопар X-A в общем штуцере серийного датчика типа Т-99. Линия "0" - отметка нулевой линии, совмещенной с показаниями термопары I в воздушном потоке (показания термопары при конечной установившейся температуре среды  $t_2$ ). Начальные горизонтальные участки на линиях I и II - запись показаний термопар при начальной установившейся температуре среды  $t_1$ . Отметка времени на осциллограмме (вертикальные прямые): тонкими линиями - через 0,1 с и яркими - через 0,5 с.

2. Показатель тепловой инерции датчика определяется из осциллограмм графически.

2.2. Вычисляется ордината  $y_{63} = y_1 (1 - 0,632)$ , соответствующая изменению первоначального сигнала на 63%.

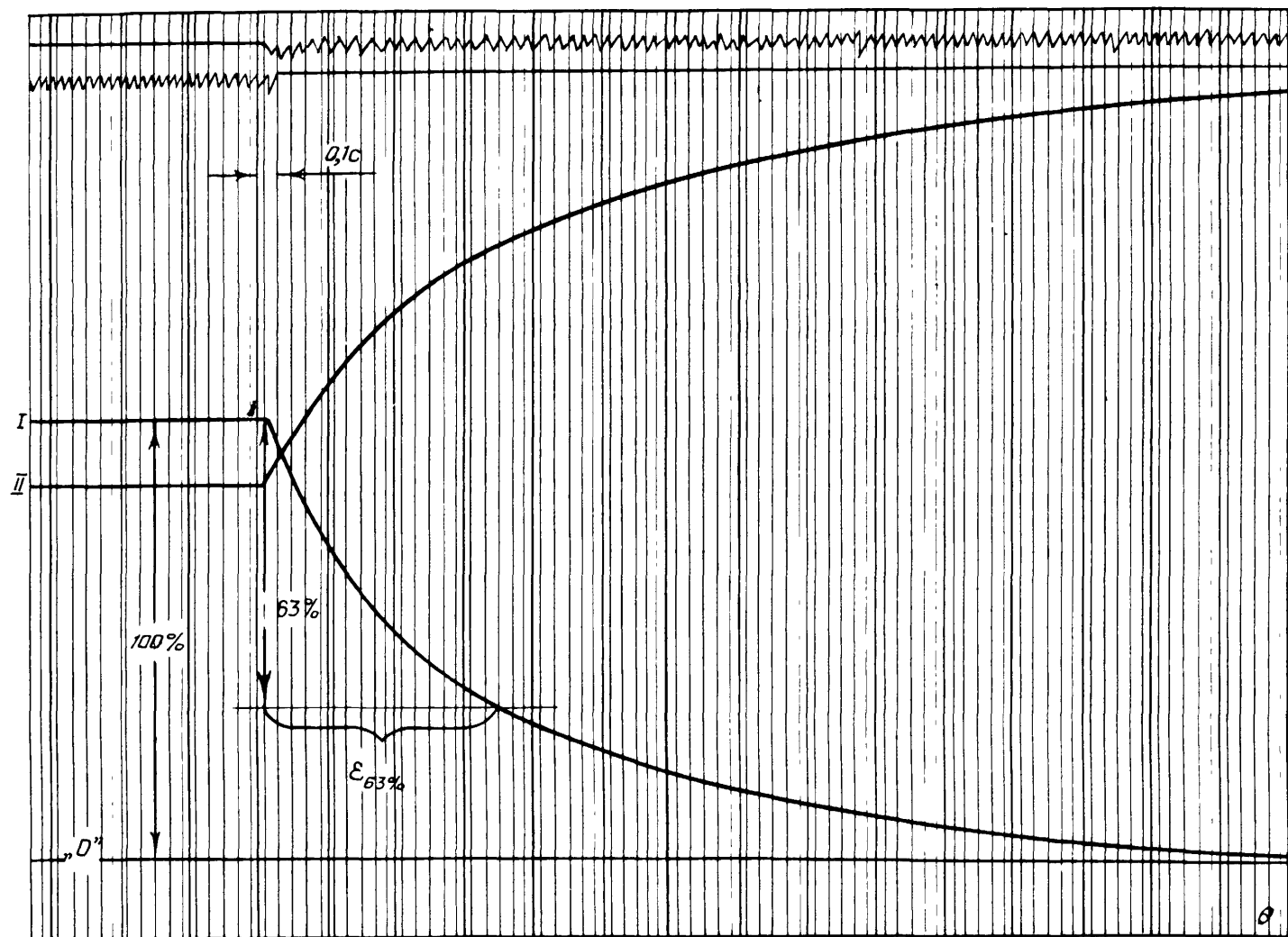
2.3. На кривой переходного процесса находится точка с ординатой  $y_{63}$ .

3. Вычисляется абсцисса точки на кривой переходного процесса с ординатой  $y_{63}$ . Величина этой абсциссы равняется показателю тепловой инерсии  $\epsilon_{63}$ .

4. По п. 6.1 настоящего стандарта сделана оценка погрешности экспериментально-расчетного определения  $\epsilon_{63}$ , ее результаты приведены в таблице.

4537

Мив № дубинката

[illegible]

|                 |                  | Наименование величины  | Обозначение                  | Значение величины  | Основание оценки  |
|-----------------|------------------|--|------------------------------|--|---|
| № изм           | № изв            | Абсолютная погрешность регистрации амплитуды выходного сигнала на осциллографах К-20-21 шлейфами У1 и У11 типов и на Н-115 шлейфами типа М017-150      | $\delta y_p$                 | $\pm 0,8$ мм   |   |
|                 |                  | Абсолютная погрешность отсчета длин отрезков на осциллограмме (амплитуды выходного сигнала) отметки времени  | $\delta e$                   | $\pm 0,5$ мм   | Оценена равной толщине линии светового луча шлейфа на осциллограмме   |
|                 |                  | Абсолютная погрешность регистрации отметки времени:<br>0,002 с на осциллографе Н-115<br><br>0,01 с на осциллографе К-20-21                             | $\Delta \theta_p$            | $\pm 0,00002$ с<br>( $\pm 0,02$ мм)<br><br>$\pm 0,0001$ с<br>( $\pm 0,025$ мм) | По техническим данным осциллографа при скорости протяжки бумаги 1000 мм/с<br><br>По техническим данным осциллографа при скорости протяжки бумаги 25 мм/с    |
|                 |                  | Абсолютная погрешность на непараллельность переноса отрезка  | $\delta \Delta y_{63.2}$     | $\pm 0,5$ мм   | Оценена равной толщине линии на осциллограмме   |
|                 |                  | Абсолютная погрешность определения показателя по переходной функции датчика из осциллограммы при скорости протяжки бумаги:<br>1000 мм/с<br><br>25 мм/с | $\delta \varepsilon_{осц}$   | $\pm 0,0013$ с<br>( $\pm 1,28$ мм)<br><br>$\pm 0,05$ с<br>( $\pm 1,28$ мм)     | Как погрешность от некоррелированных отдельных погрешностей<br>$\pm \sqrt{(\delta y_p)^2 + (\Delta \theta_p)^2 + 3(\delta e)^2 + (\delta \Delta y_{63})^2}$ |
| Инв № дубликата | Инв № подлинника | Абсолютная погрешность определения коэффициента угловых наклонов $\varepsilon_i$ по переходной функции (в полупологарифмических координатах)           | $\delta \varepsilon_{i осц}$ | $\pm 1,13$ мм<br>$\pm 0,00065$ с   | $\pm \sqrt{2(\Delta y_{i-(i+1)})^2 + 2(\Delta \theta_{i-(i+1)})^2}$   |
|                 |                  | Абсолютная погрешность измерения атмосферного давления в диапазоне $B_0 = 740 \div 760$ мм рт. ст.   | $\delta B_0$                 | $\pm 230$ Па<br>$\pm 1,73$ мм рт.ст.   | Класс точности барометра  |
|                 |                  | Абсолютная погрешность измерения динамического напора $\Delta P_0$   | $\delta \Delta P_{дин}$      | $\pm 533$ Па<br>$\pm 4$ мм рт.ст.  | Измерительный прибор - ртутный манометр   |

Продолжение

| Наименование величины   | Обозначение                                      | Значение величины                                  | Основание оценки  |
|---|--|--|---|
| Абсолютная погрешность определения статического давления<br>$P_{ст} = B_0 - \Delta P_{ст}$  | $\delta P_{ст}$                                  | $\pm 570$ Па<br>$\pm 4,28$ мм рт.ст.               | -   |
| Суммарная абсолютная погрешность определения показателя тепловой инерции $\varepsilon_{63}$<br><br>и коэффициентов угловых наклонов $\varepsilon_l$ | $\delta \varepsilon$<br><br>$\delta \varepsilon$ | $M = 0,27 \mid M = 0,45$<br>0,143 с<br><br>0,125 с | $\frac{\delta \varepsilon}{\varepsilon} = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial W}\right)^2 \left(\frac{\partial W}{W}\right)^2 + \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial P_{ст}}\right)^2 + \frac{\left(\frac{\delta P_{ст}}{P_{ст}}\right)^2 + \left(\frac{\delta \varepsilon_{осц}}{\varepsilon}\right)^2}{}}$ |

№ изм  
№ изв

4537

Инв № дубликата  
Инв № подлинника

ПРИЛОЖЕНИЕ 7  
Обязательное

Форма свидетельства об определении динамических  
характеристик датчиков температур

(наименование организации, выдавшей свидетельство)

СВИДЕТЕЛЬСТВО № \_\_\_\_\_  
ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
ДАТЧИКОВ ТЕМПЕРАТУР

Обозначение датчиков температур \_\_\_\_\_ заводской номер \_\_\_\_\_  
Дата изготовления \_\_\_\_\_  
Чувствительный элемент \_\_\_\_\_  
Диаметр проволоки \_\_\_\_\_  
Глубина погружения \_\_\_\_\_

Назначение средства измерения: измерение температуры газового потока, вы-  
дача показаний датчиков температур на регистрацию самопишущим прибором \_\_\_\_\_

Основные метрологические характеристики:  
градуировочная кривая по температуре с рабочими диапазонами использования \_\_\_\_\_

Условия эксплуатации:  
ГТД или его узлы в эксплуатации, доводке и испытаниях

Результаты определения динамических характеристик датчиков температур

| Дата<br>испытания | Наименование<br>установки | Параметры<br>газового<br>потока |             |   | Показатель<br>тепловой<br>инерции<br>$\epsilon_{63}$ | Аналитическое<br>выражение<br>переходной<br>характеристики | Значение пара-<br>метра переходной<br>характеристики |                |              |                |              |                |
|-------------------|---------------------------|---------------------------------|-------------|---|--|--|--|----------------|--------------|----------------|--------------|----------------|
|                   |                           | W                               | $\rho_{ст}$ | t |  |  | $\epsilon_1$   | A <sub>1</sub> | $\epsilon_2$ | A <sub>2</sub> | $\epsilon_3$ | A <sub>3</sub> |
|                   |                           |                                 |             |   |  |  |  |                |              |                |              |                |

Оценка погрешности определения динамических характеристик  
По результатам определения динамических характеристик (протокол № \_\_\_\_\_  
от \_\_\_\_\_ 19 \_\_\_\_ г.) датчики температур допускаются к применению с использова-  
нием динамических характеристик.

Подпись руководителя организации, проводив-  
шей определение динамических характеристик  
М.п.

Подписи руководителя подразделения и про-  
водившего определение динамических характе-  
ристк

## ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

| №<br>изм. | Номера страниц           |                 |       |                          | Номер<br>"Изв.<br>об<br>изм." | Подпись  | Дата | Срок<br>введения<br>изменения |
|-----------|--------------------------|-----------------|-------|--------------------------|-------------------------------|----------|------|-------------------------------|
|           | изме-<br>ненных          | замене-<br>нных | новых | анну-<br>лиро-<br>ванных |                               |          |      |                               |
| 1         | 1,2,3,4,5,8,<br>18,19,20 | —               | —     | —                        | 113 12                        | Дорошнев |      | с 01.01.90                    |

|                 |                  |
|-----------------|------------------|
| Изм № дубликата | Изм № подлинника |
|                 | 4537             |