

**Министерство энергетики и электрификации СССР**

---

**Главтехуправление**

**МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ  
ВАЛОВОГО ВЫБРОСА ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ  
С ДЫМОВЫМИ ГАЗАМИ ТЭС  
С ПРИМЕНЕНИЕМ ДЫМОМЕТРА АИД-210  
"ЭНЕРГИЯ"**

**РД 34.11.310-87**

**Москва 1988**

**РАЗРАБОТАНА** Всесоюзным дважды ордена Трудового Красного Знамени  
теплотехническим научно-исследовательским институ-  
том им.Ф.Э.Дзержинского (ВИ им.Ф.Э.Дзержинского)

**ИСПОЛНИТЕЛИ** О.Н.Кондратьева, М.Я.Мотро, С.А.Островский,  
С.А.Пустова, В.Б.Эткин (руководитель темы)

**УТВЕРЖДЕНА** Главным научно-техническим управлением энергетики  
и электрификации **11.08.87.**

Заместитель начальника **А.И.Барсенов**

УДК 621.311.22:662.6

---

МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ  
ИЗМЕРЕНИЙ ВАЛОВОГО  
ВЫБРОСА ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ  
С ДЫМОВЫМИ ГАЗАМИ ТЭС  
С ПРИМЕНЕНИЕМ ДЫМОМЕРА  
АИД-210 "ЭНЕРГИЯ"

---

РД 34.11.310-87

Срок действия установлен  
с 01.01.88  
до 01.01.98

Настоящая Методика устанавливает метод определения валового выброса твердых частиц с дымовыми газами на тепловых электростанциях, сжигающих твердое топливо, с использованием сигнала измерителя непрозрачности дыма автоматического типа АИД-210 "Энергия" (в дальнейшем - дымомера), а также правила расчета выброса за определенные периоды времени и составления отчета о выбросах.

Методика предназначена для эксплуатационных, научно-исследовательских, проектно-конструкторских и наладочных организаций минэнерго СССР.

Методика разработана в развитие МТ 34-70-010-83 "Методика определения валовых выбросов вредных веществ в атмосферу от котлов ТЭС", применительно к контролю выбросов твердых частиц на ТЭС с учетом особенностей используемого для этой цели дымомера АИД-210 "Энергия".

С момента введения в действие настоящей Методики утрачивает силу раздел 2 МТ 34-70-010-83 в части определения выбросов твердых частиц на ТЭС, оснащенных дымомерами.

## І. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

І.І. Настоящая Методика является универсальной для котлов, сжигающих твердое топливо. При использовании методики для конкретного объекта потребитель осуществляет выбор способов определения: избытка воздуха и расхода дымовых газов в газоходе, средней непрозрачности газов с использованием дымомера; выполняет оценку погрешности определения валового выброса с учетом геометрических параметров газохода, числа точек отбора пробы при градуировке и использованных для этой цели приборов, нестабильности оптических свойств пылевзвеси в конкретных условиях. Оценка погрешности следует выполнять единожды с целью установления фактических значений показателей точности для принятой схемы измерения и повторять ее только в случае изменения схемы измерения, технологического процесса или марки сжигаемого топлива.

І.2. Метрологическая аттестация настоящей Методики проводится в соответствии с требованиями "Методических указаний по разработке и аттестации методик выполнения измерений основных параметров теплоэнергетического оборудования" МУ 34-70-014-82 комиссией, утвержденной руководством ТЭС. При метрологической аттестации должны быть использованы материалы по опробованию Методики на ТЭС; градуировки дымомера, проведенной по "Временной методике градуировки оптического дымомера АИД-210 "Энергия" в единицах массовой концентрации летучей золы"; оценки погрешности измерения валового выброса твердых частиц, выполненной по настоящей Методике.

### 2. СВЕДЕНИЯ ОБ ИЗМЕРЯЕМОМ ПАРАМЕТРЕ И УСЛОВИЯХ ИЗМЕРЕНИЯ

2.1. Контрольные (номинальные) значения предельно-допустимых или временно согласованных выбросов в атмосферу твердых частиц с дымовыми газами ТЭС установлены для каждого котельного агрегата отдельно и электростанции в целом в соответствии с "Методическими указаниями по определению предельно допустимых выбросов (ПДВ) и временно согласованных выбросов (ВСВ) вредных веществ в атмосферу для тепловых электростанций", М.: СПО "Совзтехэнерго", 1981.

2.2. Номинальное значение концентрации твердых частиц в дымовых газах на измерительном участке котельного агрегата определяется путем деления ПДВ (или ВСВ), установленного для дан-

ного агрегата, на полный расход дымовых газов через измерительные участки котлоагрегата при номинальных параметрах его работы. Полный расход дымовых газов подсчитывается по методике, изложенной в разделе 7.

Пределы измерения непрозрачности среды дымомером охватывают весь диапазон допустимого изменения концентрации твердых частиц в дымовых газах.

2.3. Измерение концентрации твердых частиц должно производиться в газоходах между золоуловителями и дымососами котельных агрегатов.

Допускается измерение концентрации твердых частиц за дымососами.

2.4. В зоне установки дымомеров дымовые газы могут иметь следующий состав, %:

окись азота	до 0,15
диоксид азота	до 0,015
кислород	до 10
окись углерода	до 1,0
диоксид углерода	до 16
водород	до 1,0
метан	до 1,0
диоксид серы	до 0,5
триоксид серы	до 0,008

Параметры дымовых газов в зоне измерения должны находиться в следующих пределах:

температура, °С	50-250
влажностное содержание, %	до 20
скорость потока, м/с	до 25
статическое давление (разряжение) в газоходе, кПа	от +1 до -4

Химический состав золы, %

$\text{SiO}_2$  - (35-65),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  - (10-41),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  - (4,5-19,5)  
 $\text{TiO}_2$  - (0,5-2,5),  $\text{CaO}$  - (2-52),  $\text{MgO}$  - (0,2-7),  $\text{K}_2\text{O}$  - (1-4),  
 $\text{Na}_2\text{O}$  - (0,5-4).

Количественный состав золы по размерам, %

от 0 до 10 мкм	от 25 до 80
от 10 до 20 мкм	от 5 до 10



от 20 до 30 мкм	от 3 до 5
от 30 до 40 мкм	от 3 до 5.

### 3. МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРА И СТРУКТУРА ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

3.1. Валовый выброс твердых частиц с дымовыми газами котельного агрегата - это масса твердых частиц, выбрасываемых в атмосферу за определенный промежуток времени.

Валовый выброс определяется как произведение массовой концентрации частиц в единице объема дымовых газов на объемный расход этих газов через контролируемый объект за отчетный период.

Массовая концентрация твердых частиц в единице объема дымовых газов определяется по оптической непрозрачности газов.

3.2. Измерение непрозрачности дымовых газов (дымности) должно осуществляться дымомером АИД-210 "Энергия", представляющим собой одноканальный фотометр, принцип работы которого основан на методе прямого просвечивания газохода, в котором протекают дымовые газы.

Зависимость непрозрачности дымовых газов от массовой концентрации твердых частиц в них устанавливается путем градуировки дымомера непосредственно на месте измерения по "Временной методике градуировки оптического дымомера АИД-210 "Энергия" в единицах массовой концентрации летучей золы" (М., ВТИ, 1984), утвержденной Главтехуправлением Минэнерго СССР 13 ноября 1984 г.

3.3. Методикой определен следующий порядок косвенного измерения валового выброса твердых частиц:

3.3.1. Измерение дымомером средней непрозрачности дымовых газов за определенные промежутки времени, например, за сутки.

3.3.2. Определение по результатам градуировки дымомера средней концентрации твердых частиц, выбрасываемых с дымовыми газами.

3.3.3. Измерение параметров, необходимых для расчета среднего часового расхода дымовых газов за те же промежутки времени по обратному тепловому балансу котлоагрегата.

3.3.4. Расчет среднего часового расхода дымовых газов за упомянутые промежутки времени по обратному тепловому балансу котлоагрегата с учетом присосов воздуха по тракту дымовых газов.

3.3.5. Расчет валового выброса твердых частиц за каждый промежуток времени.

3.3.6. Суммирование валового выброса твердых частиц за все промежутки времени отчетного периода.

3.4. Для измерения среднесуточных значений непрозрачности дымовых газов и присосов воздуха по тракту дымовых газов должны использоваться средства измерения, указанные в табл. 1. Допускается замена средств измерения (СИ), указанных в табл. 1, другими, имеющими метрологические характеристики не хуже, чем у СИ, перечисленных в таблице.

3.5. При оптической непрозрачности контролируемой среды, превышающей 95% предела измерения дымомера, а также при наличии в дымовых газах сажи, образующейся в результате сжигания жидкого топлива и существенно (п. 7.4.2) влияющей на показания дымомера, допускается расчет валового выброса твердых частиц по "методике определения валовых выбросов вредных веществ в атмосферу от котлов тепловых электростанции", МТ 34-70-010-83.

#### 4. УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ

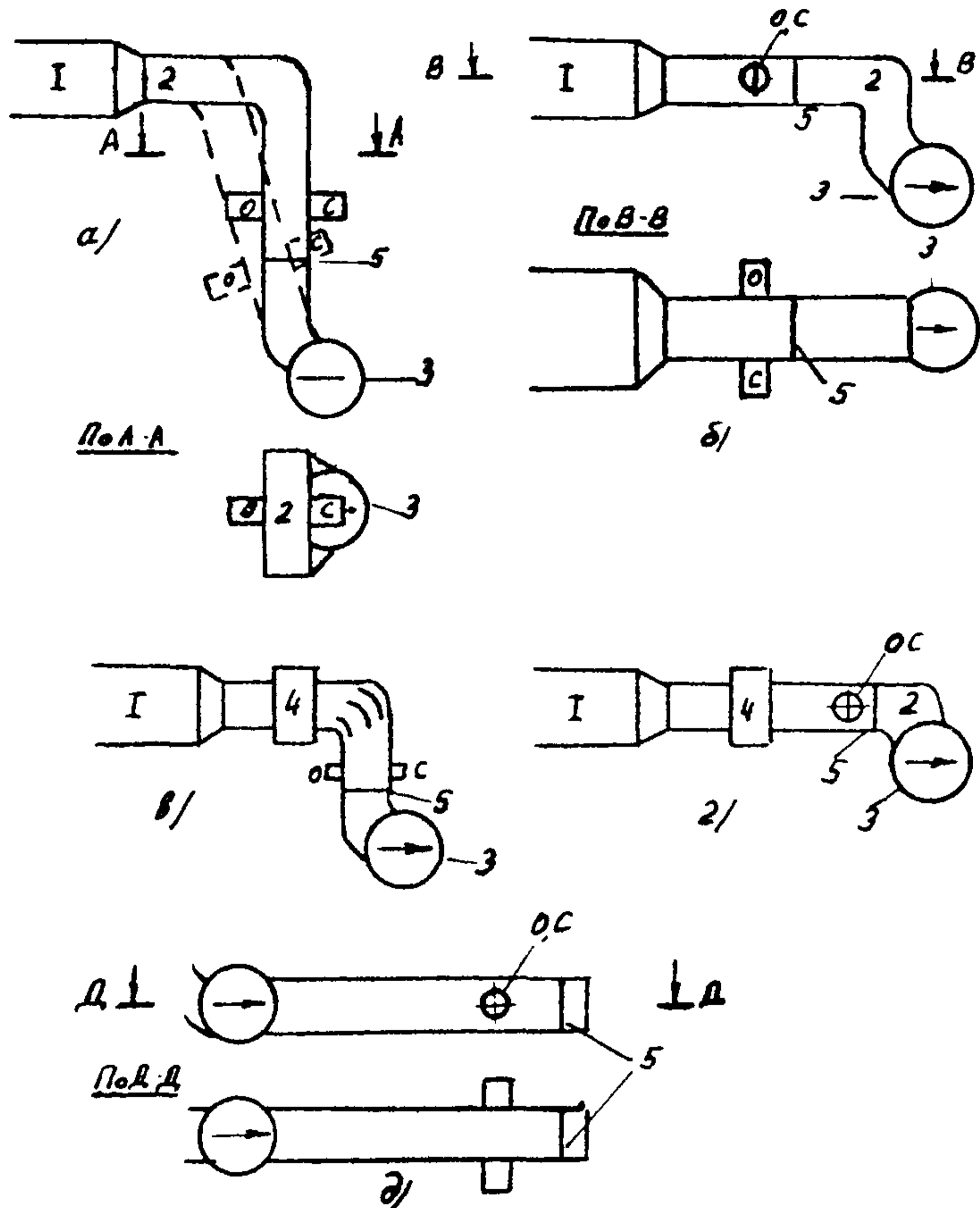
4.1. Установка первичного преобразователя дымомера.

4.1.1. Первичный преобразователь дымомера, состоящий из осветителя и светоприемника, должен устанавливаться на каждом газоходе между золоуловителем и дымососом котельного агрегата (черт. 1, а-1, г).

В исключительных случаях, при отсутствии приемлемых для установки первичного преобразователя дымомера участков газохода, допускается монтаж первичного преобразователя за дымососом (черт. 1, д). При этом для аэродинамической защиты оптики от загрязнения дымовыми газами к блокам первичного преобразователя следует подвести сухой сжатый воздух. Давление воздуха перед входом в дымомер должно быть на 1-1,5 кПа выше статического давления в газоходе.

На котельных агрегатах паропроизводительностью менее 230 т/ч в период ограниченного внедрения дымомеров допускается их использование для группы котлоагрегатов, подключенных к одной дымовой трубе, непосредственно перед этой трубой (в самой трубе).

Варианты размещения дымомера  
на газоходах за золоуловителем



I - золоуловитель; 2 - газоход; 3 - дымосос;  
4 - коллектор; 5 - сечение для измерения массовой  
концентрации частиц; O - осветитель; C - свето-  
приемник дымомера

Черт. I



Таблица 1

## Перечень рекомендуемых средств измерений

Контролируемый параметр	Наименование, тип, марка	ГОСТ или ТУ	Краткая техническая характеристика	Количество на один дымомер, шт.
1. Непрозрачность дымовых газов	Измеритель непрозрачности дыма автоматический АИД-210 "Энергия"	ТУ 25-05 (IE2.850.225)-79	Выходной сигнал унифицированный 0-5 мА постоянного тока. Диапазоны измерения непрозрачности: (0-50)% или (0-100)%. Основная погрешность $\pm 5,0\%$	
2. Среднесуточные значения непрозрачности дымовых газов и содержание в них кислорода	Интегратор-счетчик ПВИ-7	ТУ 25-02.722280-80	Входной сигнал (0-5) мА постоянного тока. Основная погрешность при нормальных условиях $\pm 0,25\%$ . Смоленский ОЗ НИИ Теплоприбора	2
3. То же	Нормирующий преобразователь НП-5-61	ТУ 25-04-3271-77	Выходной сигнал 0-5 мА постоянного тока. Уфимское производственное объединение "Геофизприбор"	2
4. -"-	Планиметр ПК-13 или ПШ-Б		Радиус: начальной окружности 28,75 мм, конечной окружности 135 мм, дуги времени 133 мм, окружности центров дуги времени 128,8 мм. Основная погрешность $\pm 1,0\%$	1

## Продолжение табл. I

10

Контролируемый параметр	Наименование, тип, марка	ГОСТ или ТУ	Краткая техническая характеристика	Количество на один дымомер, шт.
5. Состав дымовых газов (содержание кислорода)	Газоанализатор химический стеклянный ручного действия ГХП-3М	ГОСТ 6329-74	Основная погрешность $\pm 0,2\%$	I
6. Состав дымовых газов (содержание кислорода)	Газоанализатор для общего анализа природных и промышленных газов типа ВТИ-2	ГОСТ 7018-75	Основная погрешность не превышает $\pm 0,1\%$	I
7. Автоматическое непрерывное измерение концентрации кислорода в дымовых газах	Термоманнитный газоанализатор МН 5106-2	ТУ 25-05.2723-80	Выходной сигнал унифицированный 0-5 мА постоянного тока. Диапазоны измерения: (0-1)%; (0-2)%; (0-5)% и (0-10)%. Основная погрешность $+2,0\%$ для диапазонов (0-5)% и (0-10)% и $+5\%$ для диапазонов (0-1)% и (0-2)%	I
8. Температура дымовых газов в зоне отбора пробы	Термопреобразователь сопротивления платиновый ТСП-507I 5Ц2, 82I.300	ТУ 25-02.2207 I6-78	Пределы измерения от $-50$ до $+600$ °С. Предел допускаемой основной абсолютной погрешности при температуре $(200 \pm 1)$ °С. Приборостроительный з-д, г. Луцк	I

Продолжение табл. I

Контролируемый параметр	Наименование, тип, марка	ГОСТ или ТУ	Краткая техническая характеристика	Количество на один дымомер, шт
9. Температура дымовых газов в зоне отбора пробы	Мост автоматический уравновешенный КСМ-4	ГОСТ I2997-84	Пределы измерения 0-600°C. I Основная погрешность 0,5%. З-д "Манометр", г.Москва	
Параметры окружающей среды в месте установки газоанализатора:				
10. давление	Барометр-анероид метеорологический БАММ-1	ТУ 25-04-1618-72	Пределы измерения от 80.10 <sup>3</sup> до 106.10 <sup>3</sup> Па, з-д "Гидрометприбор", г.Сафоново	I
11. влажность	Психрометр аспирационный М-34	ТУ 25-1607.054-85	Пределы измерения от 10 до 100%, цена деления 0,2%, з-д "Гидрометприбор", г.Сафоново	I
12. температура	Термометр 4-Б2	ГОСТ 215-73	Пределы измерения от 0 до 50°C, цена деления 0,1°C	I

4.1.2. Первичный преобразователь дымомера следует монтировать на наиболее длинном прямолинейном вертикальном или наклонном участке газохода, имеющего постоянное или конфузорное поперечное сечение. По условиям компоновки газохода в исключительных случаях допускается размещение дымомера на горизонтальном участке газохода. Мерное сечение должно быть расположено в месте, делящем прямой участок в отношении 3:1 в направлении движения потока.

4.1.3. При измерении концентрации твердых частиц в дымовой трубе согласно п. 1.6 первичный преобразователь дымомера следует устанавливать на расстоянии  $N \geq 5D$  от ближайшего места возмущения потока ( $D$  - диаметр трубы).

4.1.4. Первичный преобразователь дымомера должен устанавливаться на газоходе так, чтобы его оптическая ось была по возможности горизонтальна и лежала в плоскостигиба колена, расположенного перед предвключенным прямым участком газохода.

4.1.5. Осветитель и светоприемник дымомера должны устанавливаться на противоположных стенках газохода на расстоянии от 1 до 4 м.

Оптические оси осветителя и светоприемника должны совпадать.

4.1.6. Средняя скорость газов на измерительном участке газохода должна быть не ниже 6 м/с.

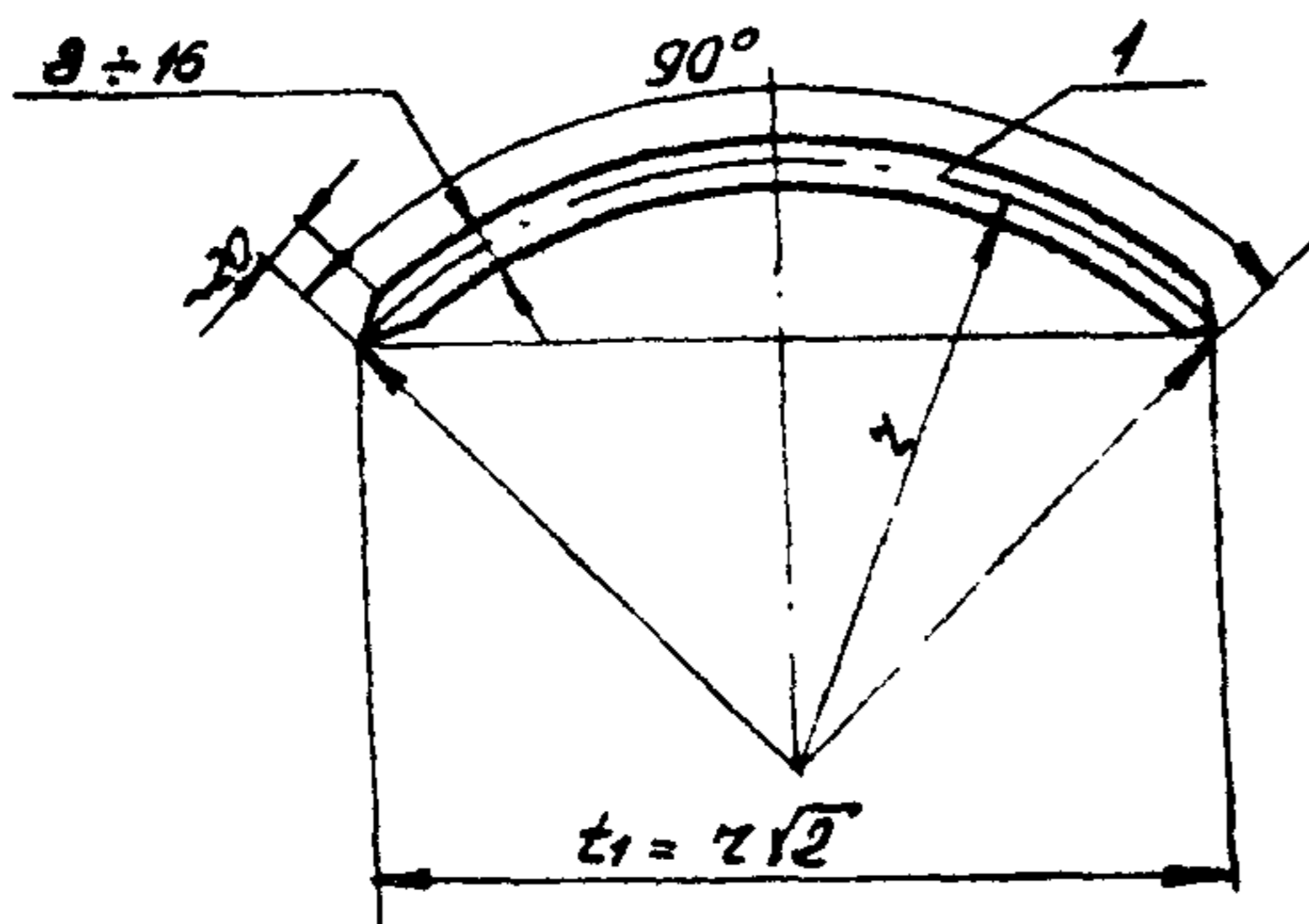
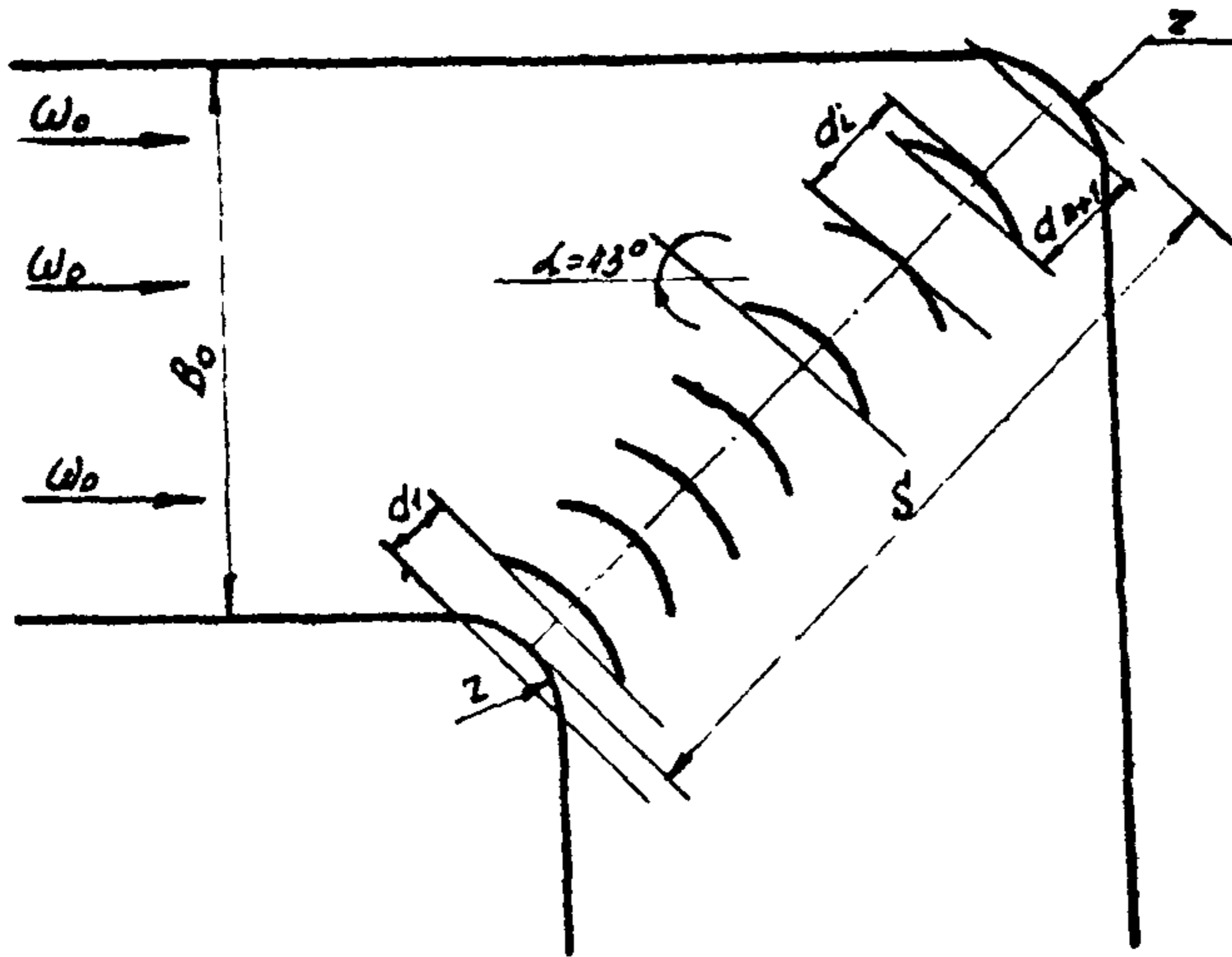
4.1.7. Для выравнивания полей скоростей и концентраций твердых частиц на измерительном участке, при необходимости, в колене газохода, расположенном перед предвключенным прямым участком, допускается установка направляющих лопаток в соответствии с черт. 1в и черт. 2.

4.1.8. Вырезка в газоходе окон и монтаж осветителя и светоприемника дымомера должны выполняться в соответствии с указаниями, приведенными в паспорте УЕ2.850.225ПС на измеритель дыма автоматический АИД-210 "Энергия".

Для повышения жесткости монтажа и снижения вибраций допускается устанавливать под осветителем и светоприемником подставки, соединенные расчалками с газоходом или площадкой обслуживания.

4.2. Первичный преобразователь дымомера может эксплуатироваться при следующих параметрах состояния окружающей среды:

Размещение направляющих лопаток в колене перед участком установки дымомера.



$$n = 14 \left( \frac{r}{B_0} \right)^{-1} = 14 \frac{S}{t_1};$$

$$d_i = 0,67 \frac{S}{n+1} \left( 1 + \frac{i-1}{n} \right); \quad \frac{d_{n+1}}{d_i} = 2.$$

$n$  - число лопаток;  $d_i$  - расстояние между лопатками;  
 $i$  - порядковый номер лопатки (от внутреннего закругления колена).  
 $1$  - направляющая лопатка

Черт. 2.



температура, °С	±50
относительная влажность, %	до 95
атмосферное давление, кПа	82-104

4.3. Для обеспечения возможности градуировки дымомера в единицах массовой концентрации твердых частиц, содержащихся в дымовых газах, в зоне размещения первичного преобразователя должны быть установлены лючки и штуцера для ввода в газоход трубок Прандтля и пылеотборных трубок.

4.3.1. Лючки для ввода пылеотборных зондов, трубок Прандтля и термометр следует устанавливать на одной или двух (при ширине газохода свыше 2 м) широких стенках газохода (для газоходов круглого сечения - по окружности). Сечение газохода, в котором расположены лючки, должно находиться выше по течению газов на расстоянии (0,5-1) м от первичного преобразователя дымомера. Стенки, на которых размещаются лючки, выбираются исходя из удобства измерений.

4.3.2. Количество лючков определяется размерами сечения газохода, а также необходимой точностью градуировки и должно выбираться в соответствии с черт. 3.

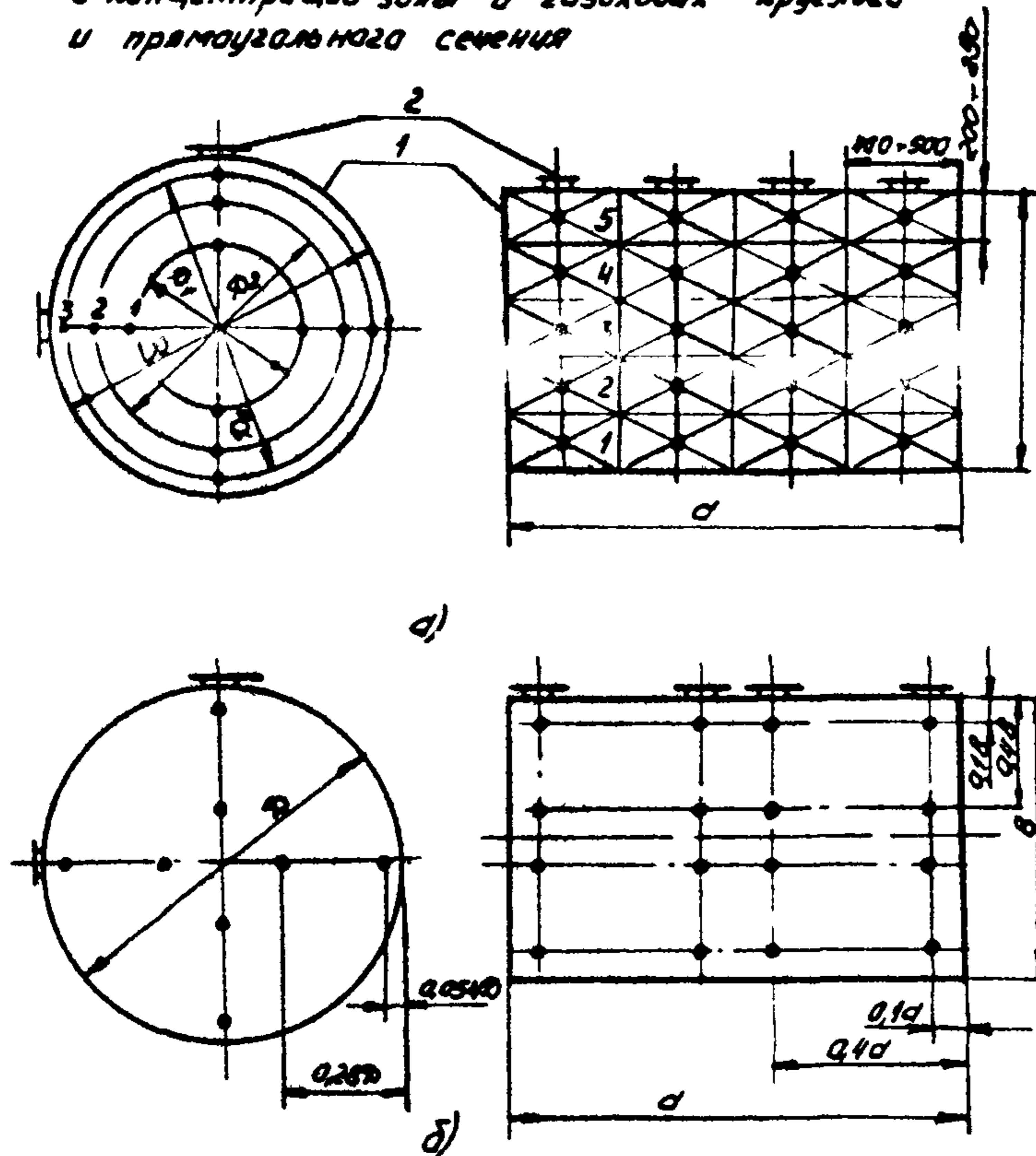
Количество лючков должно быть достаточным для осуществления первичной градуировки дымомера (черт. 3,а), выполняемой в соответствии с Временной методикой градуировки дымомера АИД-210 "Энергия" в единицах массовой концентрации летучей золы (М.: ВТИ, 1984) и повторных градуировок (черт. 3,б), которые проводятся путем измерения локальных параметров потока в 16 точках сечения газохода согласно ГОСТ 12.3.018-79.

Отклонение размеров, указанных на черт. 3, для установки лючков, не должно превышать ±10%. Конструкция лючков приведена на черт. 4. Продольная ось лючков должна быть параллельна оси газохода.

4.3.3. Штуцера для ввода в газоход пробоотборных зондов газоанализаторов размещают на расстоянии 0,5-0,7 м от лючков выше по течению дымовых газов.

4.3.4. При использовании дымомеров в нескольких газоходах котельного агрегата определить коэффициент неравномерности раздачи дымовых газов по газоходам мультипликаторами по методике "Теплотехнические испытания котельных установок" (М., Энергия, 1977) и установленными в каждом газоходе в зоне размещения штуцеров.

Координаты точек измерения скоростей  
и концентраций золь в газоходах круглого  
и прямоугольного сечения



а) для первичной градуировки диаметра  
б) для вторичных градуировок диаметра

$$D_i = D \sqrt{\frac{2n-1}{2N}}, \quad N = \frac{D}{60}$$

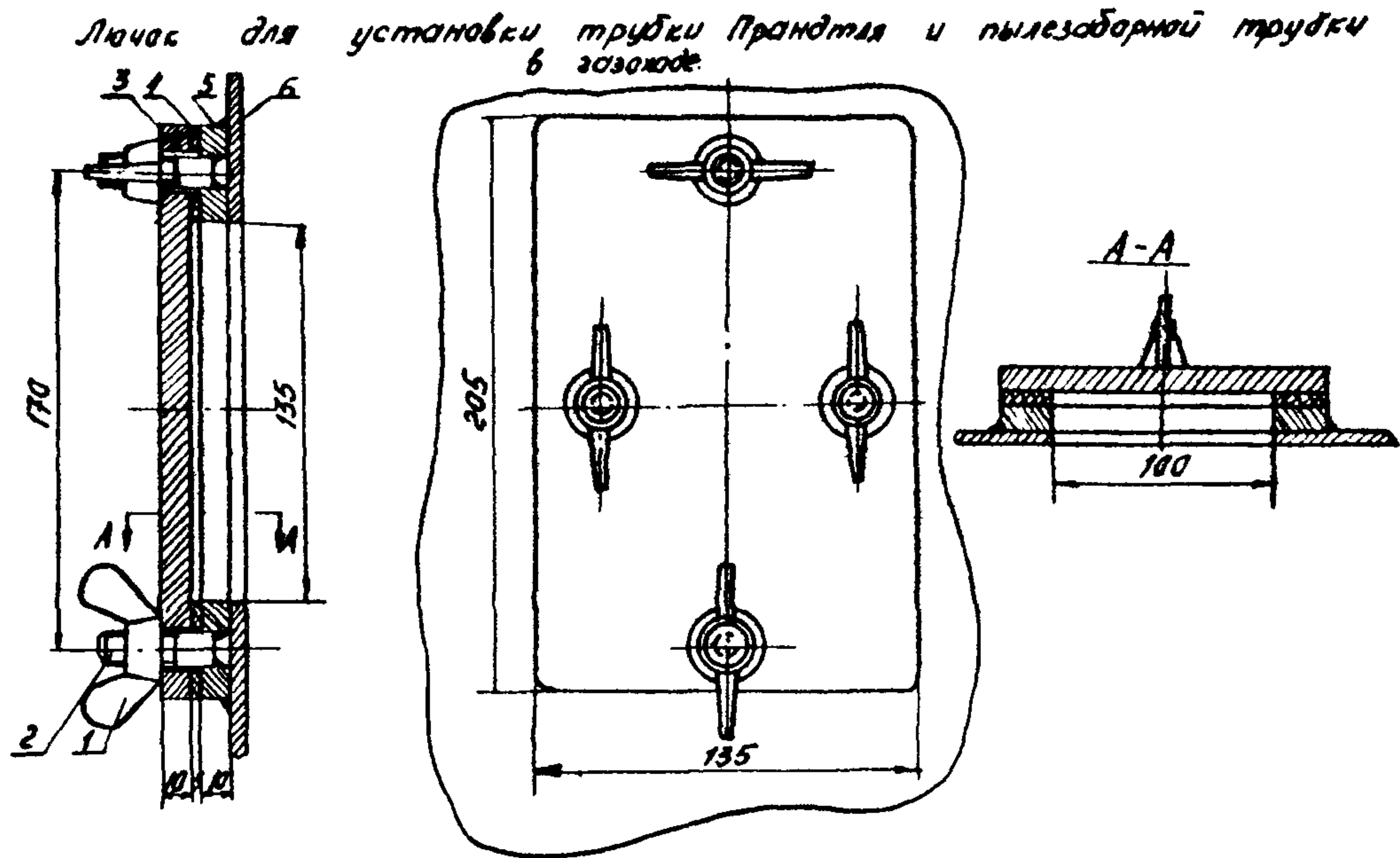
$D_i$ ;  $N$  - диаметр и число окружностей, на которых расположены точки измерения в газоходе;

$n$  - порядковый номер окружности, считая от центра трубы

Точками на схеме указаны места измерения

1 - газоход; 2 - лючок

Черт. 3.



4.4. Для монтажа и обслуживания осветителя, светоприемника дымомера и устройств для его градуировки должны быть сооружены удобные площадки, защищенные от воздействия атмосферных осадков и ветра.

4.5. К месту установки первичного преобразователя дымомера подвести электропитание — переменный ток напряжением 220 В, частотой 50 Гц.

Оборудовать осветитель и устройства для обслуживания от воздействия атмосферы.

4.6. Установка измерительного преобразователя

4.6.1. Измерительный преобразователь должен устанавливаться навесом на преобразовательном щите, защищенном от воздействия атмосферы и другим способом. Установка первичного преобразователя дымомера.

4.6.2. В помещении, где установлен измерительный преобразователь, должны соблюдаться следующие условия:

температура, °С	5-45
относительная влажность, %	30-80
атмосферное давление, кПа	82-104

4.6.3. Измерительный преобразователь монтируется в местном щите в соответствии с указаниями, изложенными в паспорте на дымомер.

4.7. Регистрирующий прибор дымомера — потенциометр типа КСУ-1 — устанавливается на щите управления котельным агрегатом.

4.8. Подвод электропитания, заземление и внешние электрические соединения составных частей комплекта дымомера осуществляются изолированным кабелем, рассчитанным на максимальный ток 1А, в соответствии с маркировкой на блоках дымомера согласно схеме электрических соединений, приведенной в паспорте на дымомер.

4.9. Комплект дымомера должен быть принят в эксплуатацию по "Инструкции о порядке приемки установок теплотехнического контроля из монтажа и наладки" (СЦНТИ ОРГРЭС, М.: 1974).



## 5. АЛГОРИТМ ОПЕРАЦИЙ ПОДГОТОВКИ И ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

5.1. При проведении подготовительных операций, а также при выполнении измерений концентрации твердых частиц в дымовых газах с помощью дымомера следует руководствоваться эксплуатационной документацией завода-изготовителя на дымомер.

5.2. Для подсчета расхода дымовых газов (согласно пп.3.5.3, 3.5.4) должны использоваться показания как штатных приборов, по которым оперативный персонал контролирует работу котлоагрегата, так и лабораторных приборов, которые применяются периодически для наладки, балансовых испытаний котлоагрегата. Во всех случаях при проведении подготовительных операций и выполнении измерений следует руководствоваться нормативно-техническими документами на соответствующие приборы, графиками их поверки и ремонта, методиками выполнения измерений.

5.3. Все применяемые СИ должны быть поверены и иметь клейма или свидетельства о поверке. Применяемые нестандартизованные СИ должны пройти метрологическую аттестацию.

## 6. ПОКАЗАТЕЛИ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ, СПОСОБЫ И ФОРМА ИХ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

6.1. В качестве показателя точности измерения валового выброса твердых частиц за отчетный период принимается интервал, в котором с установленной вероятностью находится абсолютная погрешность измерения в соответствии с МИ 1317-86 (М: Издательство стандартов, 1986).

6.2. Устанавливается следующая форма представления результатов измерения:

$$M \pm \Delta_M \quad ; \quad P = 0,95 \quad (1)$$

где  $M$  - валовый выброс твердых частиц за отчетный период;  
 $\Delta_M$  - предел суммарной абсолютной погрешности косвенного измерения валового выброса;  
 $P$  - доверительная вероятность.



## 7. АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ. ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТОЧНОСТИ

7.1. Валовый выброс твердых частиц с дымовыми газами ( $M$ ) за отчетный период через газоходы котлоагрегата, в которых установлены дымомеры, должен определяться по формуле

$$M = \sum_{j=1}^m M_j, \quad (2)$$

где  $j=1, 2, \dots, m$  - порядковый номер газохода;  
 $m$  - число газоходов котлоагрегата, на которых установлены дымомеры;  
 $M_j$  - валовый выброс твердых частиц через  $j$ -й газоход.

7.2. На электростанциях, оснащенных ЭВМ, валовый выброс твердых частиц с дымовыми газами через контролируемый газоход,  $M_j$ , с использованием сигнала дымомера следует определять по формуле:

$$M_j = 10^{-6} \int_{\tau=1}^{\tau} M_{ji} K_j Q_i d\tau, \quad (3)$$

где  $M_{ji}$  - концентрация твердых частиц в газоходе в данный момент времени, г/м<sup>3</sup>;  
 $Q_i$  - полный расход дымовых газов через газоходы котлоагрегата при нормальных условиях, м<sup>3</sup>/с;  
 $K_j$  - коэффициент, равный отношению расхода дымовых газов, протекающих через контролируемый газоход, к полному расходу дымовых газов;  
 $\tau$  - время, за которое определяется валовый выброс твердых частиц, с.

7.3. При отсутствии ЭВМ валовый выброс твердых частиц с дымовыми газами,  $M$ , за отчетный период с использованием сигнала дымомера определяется по формуле:

$$M_j = \sum_{i=1}^n M_{ji} = \sum_{i=1}^n M_{ji}^{cp} \cdot K_j \cdot Q_i^{cp} \cdot 24 \cdot 10^{-6}, \quad (4)$$

где  $i=1,2,3\dots n$  - порядковый номер суток отчетного периода;  
 $M_{ji}$  - валовый выброс твердых частиц через  $j$ -й газопровод котла за  $i$ -ые сутки, т;  
 $M_{ji}^{cp}$  - среднесуточная за  $i$ -ые сутки концентрация твердых частиц в дымовых газах в  $j$ -ом газопроводе, г/м<sup>3</sup>;  
 $Q_i^{cp}$  - средний часовой расход дымовых газов в течение  $i$ -ых суток при  $H.У.$  через все измерительные участки газопроводов котла, на которых установлены дымомеры, м<sup>3</sup>/ч;  
 $24\tau$  - время, за которое определяются средние значения  $M_{ji}^{cp}$  и  $Q_i^{cp}$ .

7.4. Зависимостями (3) и (4) не следует пользоваться при определении валового выброса твердых частиц за промежутки времени  $\tau_i$ , в течение которых:

7.4.1. Оптическая непрозрачность измеряемой среды (дымовых газов) превышала 95% предела измерения дымомера, например, вследствие нарушения нормального режима работы золоуловителей.

7.4.2. Погрешность дымомера, отградуированного в единицах массовой концентрации твердых частиц, была чрезмерно высокой вследствие наличия на измерительном участке газопровода сажи, образовавшейся при сжигании жидкого топлива с тепловыделением:

$$V_{жт} \cdot Q_{нжт}^p \geq 0,15 V_{тт} \cdot Q_{нтт}^p, \quad (5)$$

где  $Q_{нтт}^p$  и  $Q_{нжт}^p$  - соответственно низшая теплота сгорания расходуемого твердого и жидкого топлива, кДж/кг;

$V_{тт}$  и  $V_{жт}$  - часовой расход твердого и жидкого топлива, кг/ч.

7.5. В случаях, когда в течение отчетного периода или его части контролируемый объект работал в режимах, указанных в п.7.4, валовый выброс твердых частиц с дымовыми газами следует определять по формуле:

$$M_j = \sum_{i=1}^n M_{ji}^{cp} K_j Q_i^{cp} (24 - \tau_i) \cdot 10^{-6} + \sum_{i=1}^n 3,6 M_{твi} K_j \tau_i \cdot 10^{-3}, \quad (6)$$

где  $\tau_i$  - промежуток времени  $i$ -тых суток, в течение которого сигнал дымомера не использовался, ч.

Значения  $M_{ji}^{cp}$  и  $Q_i^{cp}$  определяются в этих случаях за время  $(24 - \tau_i)$  ч.

$M_{твi}$  - валовый выброс твердых частиц с дымовыми газами в единицу времени, рассчитываемый с использованием средних показателей работы котла за рассматриваемый период, г/с - по "методике определения валовых выбросов вредных веществ в атмосферу от котлов тепловых электростанций" МТ 34-70-010-83.

### 7.6. Определение концентрации твердых частиц по показаниям дымомера

7.6.1. На электростанциях следует рассчитывать мгновенную концентрацию твердых частиц  $M_{ji}$  ( $г/м^3$ ) с помощью ЭВМ по формуле:

$$M_{ji} = a(D_{ji} - D_{j0}), \quad (7)$$

где  $a$  и  $D_{j0}$  - коэффициенты линейного уравнения (черт. 5,а), аппроксимирующего точки  $D = f(\mu)$ , полученные в результате градуировки дымомера в единицах массовой концентрации твердых частиц на конкретном газоходе по "Временной методике градуировки оптического дымомера АИД-210 "Энергия".

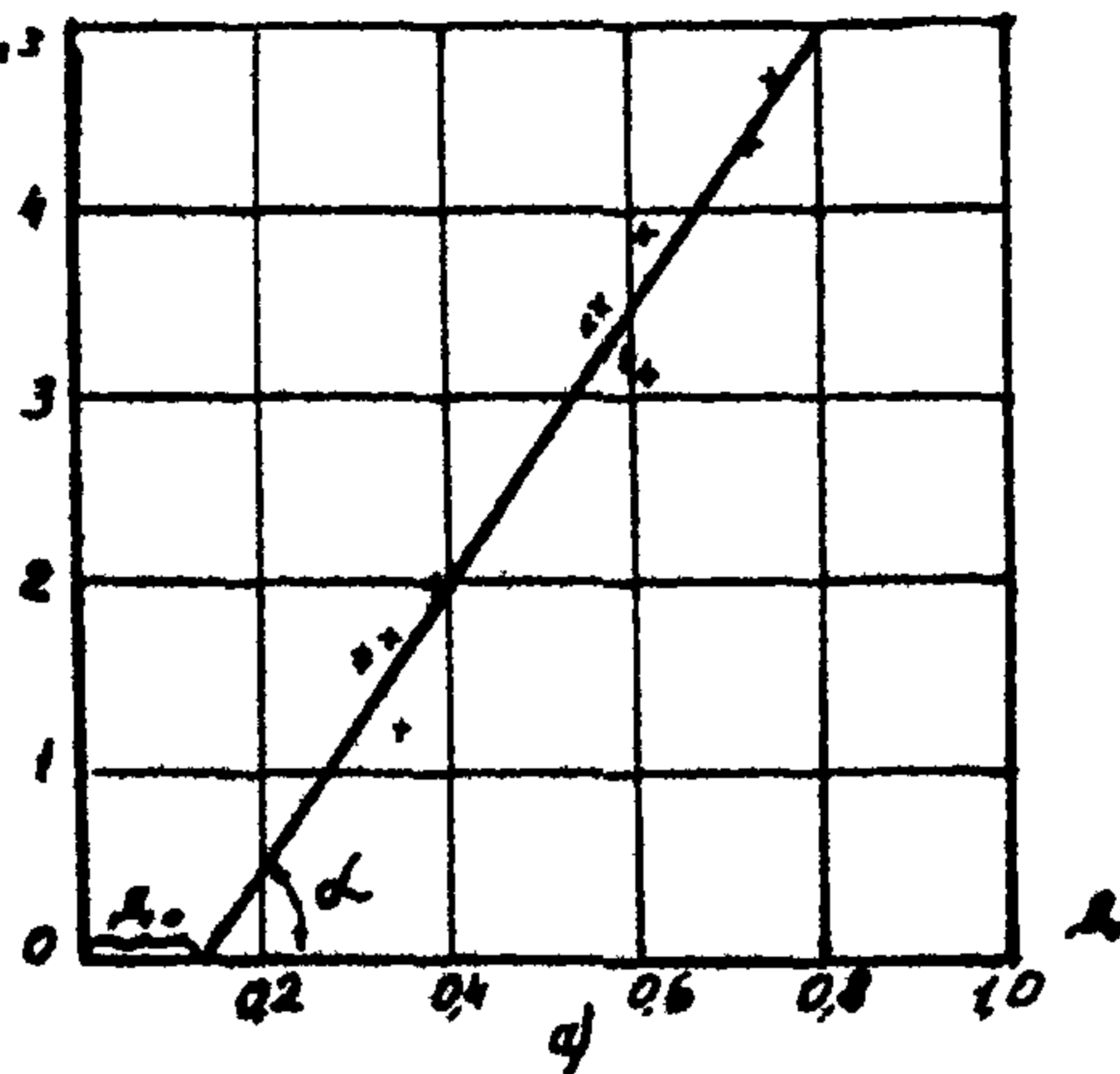
Значения коэффициентов  $a$  и  $D_{j0}$  должны быть определены методом наименьших квадратов на ЭВМ по стандартной программе аппроксимации экспериментальных данных линейной зависимостью.

При этом  $a = \operatorname{tg} \alpha$ , где  $\alpha$  - угол наклона прямой, изображенной на черт. 5,б.

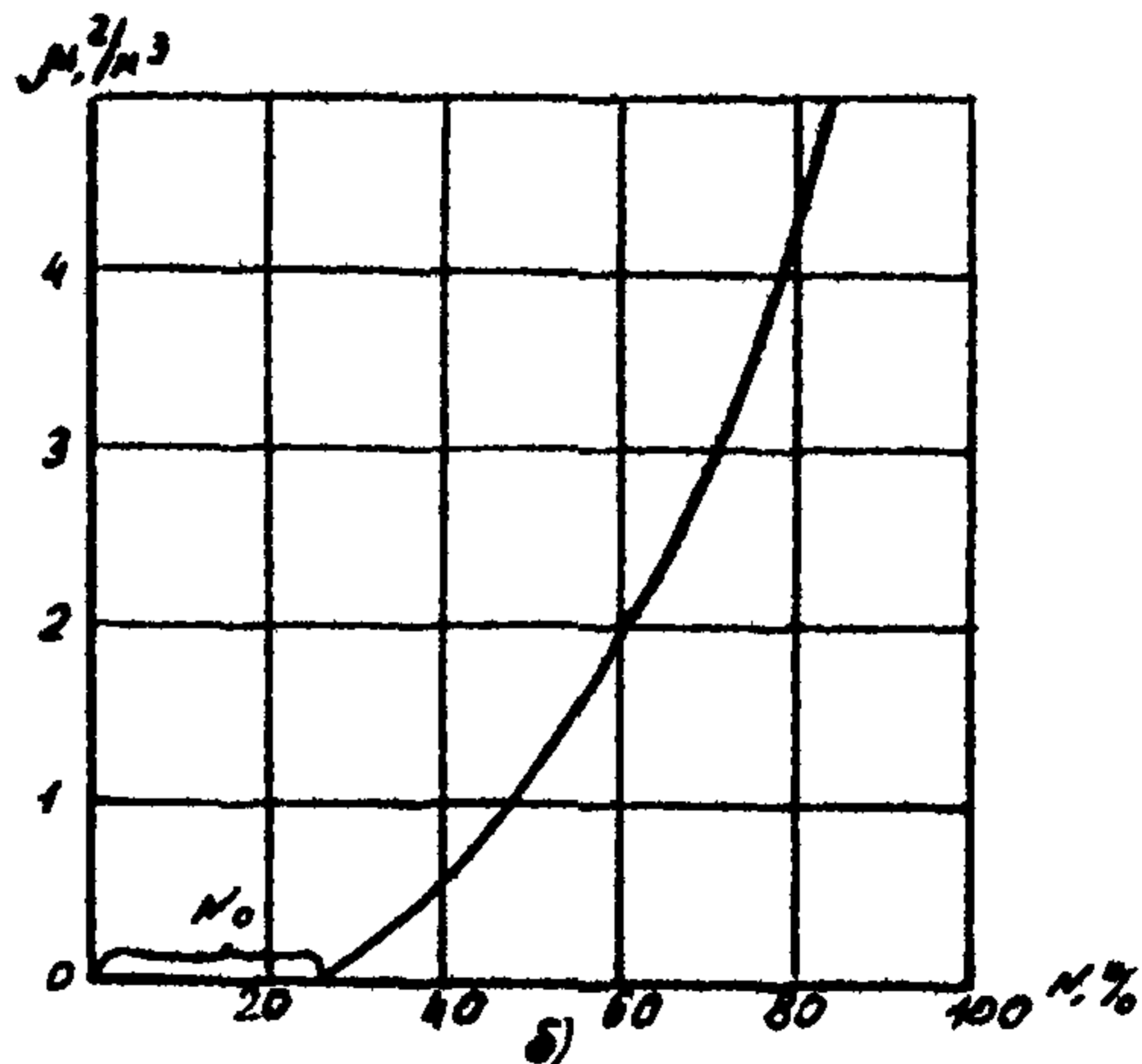
$$D_{j0} = \operatorname{lg} \frac{100}{100 - N_{j0}} \quad - \text{координата точки пересечения прямой } D = f(\mu) \text{ с осью абсцисс (черт. 5,а);}$$

$N_{j0}$  - координата точки пересечения градуировочной характеристики дымомера  $N = f(\mu)$  с осью абсцисс;

Типовая градуировочная характеристика дымомера  
 $\mu, \text{г/м}^3$



Типовая рабочая характеристика дымомера.



- $\mu$  - массовая концентрация твердых частиц, г/м<sup>3</sup>;  
 $N$  - непрозрачность дымовых газов, %.  
 $D$  - оптическая плотность дымовых газов  
 + - экспериментальные точки, полученные при градуировке дымомера

$\Delta_{jL} = \lg \frac{100}{100 - N_{jL}}$  - текущее значение оптической плотности контролируемой среды;

$N_{jL}$  - текущее значение непрозрачности контролируемой среды (выходной сигнал дымомера).

Допускается рассчитывать значения коэффициентов  $a$  и  $\Delta_{j0}$  методом, указанным в обязательном приложении 1 к настоящей методике.

7.6.2. На электростанциях, не оснащенных ЭВМ, следует определять среднюю концентрацию твердых частиц  $M_{jL}^{cp}$  за каждый промежуток времени отчетного периода по градуировочной характеристике  $M-N$  дымомера (черт. 5,6) по средней непрозрачности дымовых газов  $N_{jL}^{cp}$ . Для этого:

7.6.2.1. Определить интегральную характеристику  $\Pi_{jL}$  непрозрачности дымовых газов за каждые сутки или за каждый промежуток времени ( $24 - \tau_i$ ) по диаграммной ленте дымомера. Величину  $\Pi_{jL}$  определять путем интегрирования сигнала дымомера с помощью электрического интегрирующего прибора, например, типа ПВИ-4 (ТУ 25-02.722280-80) или вручную путем интегрирования кривой, записанной на диаграммной ленте дымомера, с помощью планиметра.

7.6.2.2. Рассчитать среднюю за сутки или за время ( $24 - \tau_i$ ) непрозрачность  $N_{jL}^{cp}$  по формулам:

$$N_{jL}^{cp} = \frac{\Pi_{jL}}{24} \quad (8)$$

или

$$N_{jL}^{cp} = \frac{\Pi_{jL}}{(24 - \tau_i)}, \quad (9)$$

где  $\Pi_{jL}$  - показания интегрирующего прибора.

7.7. Коэффициент  $K_j$ , характеризующий неравномерность раздачи дымовых газов по газоходам котла, следует определять для конкретного газохода как отношение расхода дымовых газов в конкретном  $j$ -ом газоходе к полному расходу дымовых газов в газоходах котельного агрегата, где установлены дымомеры.

Указанное отношение следует определять с использованием показаний мультипликаторов, установленных в газоходах котлоагрегата в зоне размещения дымомеров.



Допускается определение коэффициента  $K_j$  при проведении градуировки дымомеров по "Временной методике градуировки оптического дымомера АИД-210 "Энергия" в единицах массовой концентрации летучей золы" (М., ВТИ, 1984).

При симметричной компоновке газоходов и нормальной эксплуатации котла допускается принимать распределение дымовых газов по газоходам равномерным.

В этом случае  $K_j = \frac{1}{m}$ , где  $m$  - число газоходов котлоагрегата, на которых установлены дымомеры.

7.8. Расход дымовых газов  $Q_i$  ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) определяется по обратному тепловому балансу котла по формуле:

$$Q_i = [V_r^0 + (\alpha_i - 1)V^0] B_i (1 - 0,01 q_H) \cdot 2,78 \cdot 10^{-4}, \quad (10)$$

Средний часовой расход дымовых газов в течение  $i$ -ых суток  $Q_i^{cp}$  ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ) определяется по формуле

$$Q_i^{cp} = [V_r^0 + (\alpha_i^{cp} - 1)V^0] B_i^{cp} (1 - 0,01 q_H^{cp}) \quad (11)$$

В формулах (10), (11):  $V_r^0$  и  $V^0$  (при нормальных условиях) - суммарный теоретический объем продуктов сгорания, образующихся при сжигании 1 кг топлива и теоретически необходимое для сгорания 1 кг топлива количество воздуха,  $\text{м}^3/\text{кг}$ ;

$V_r^0$  и  $V^0$  следует принять в зависимости от марки и характеристики топлива по данным табл. XI методики "Расчет котельных агрегатов. Нормативный метод" (Энергия, М., 1973), или рассчитать по указанной методике, если элементарный состав сжигаемого топлива существенно отличается от типового;

$B_i$  и  $B_i^{cp}$  - текущий и средний за сутки или за время  $(24 - \tau_i)$  расходы топлива на котел,  $\text{кг}/\text{ч}$ ;

$q_H$  и  $q_H^{cp}$  - текущие и средние за сутки или за время  $(24 - \tau_i)$  потери тепла от механической неполноты сгорания топлива, %;

$\alpha_i$  и  $\alpha_i^{cp}$  - текущий и средний за сутки или за время  $(24 - \tau_i)$  коэффициенты избытка воздуха в зонах измерения концентрации твердых частиц, осредненные по газоходам, где установлены дымомеры.

7.8.1. Значения  $B_i$  и  $B_i^{cp}$  определяются по обратному тепловому балансу котла. При определении  $B_i^{cp}$  допускается использовать данные из месячных отчетов, составленных по форме № 6-ТП.

7.8.2. Значения  $q_H$  и  $q_H^{cp}$  принять по данным электростанции за отчетный период по форме № 3-тех, в соответствии с "Инструкцией по составлению технического отчета о тепловой экономичности работы электростанции" (Специализированный центр научно-технической информации, М., 1971).

7.8.3. Коэффициенты избытка воздуха  $\alpha_i$  и  $\alpha_i^{cp}$  определять по формулам:

$$\alpha_i = \sum_j^m \alpha_{ji} K_j \quad (12)$$

$$\alpha_i^{cp} = \sum_j^m \alpha_{ji}^{cp} K_j \quad , \quad (13)$$

где  $\alpha_{ji}$  и  $\alpha_{ji}^{cp}$  - коэффициенты избытка воздуха в  $j$ -ом газоходе.

При непрерывном измерении содержания кислорода в дымовых газах кислородомером в той же зоне, где установлен дымомер:

$$\alpha_{ji} = \frac{21}{21 - O_{2ji}} \quad (14)$$

$$\alpha_{ji}^{cp} = \frac{21}{21 - O_{2ji}^{cp}} \quad , \quad (15)$$

где  $O_{2ji}$  - текущее значение содержания кислорода в дымовых газах (показание кислородомера) в  $j$ -ом газоходе котла, %;

$O_{2ji}^{cp}$  - среднесуточное или среднее за время  $(24 - \epsilon_v)$  содержание кислорода в  $j$ -ом газоходе, определенное с помощью автоматического прибора, интегрирующего выходной сигнал кислородомера, или определенное с помощью планиметра по диаграммной ленте, %;

$$O_{2ji}^{cp} = \frac{\int_{\tau_0}^{\tau_0+24} O_{2ji}(\tau) d\tau}{24} \quad (16)$$

или

$$O_{2ji}^{cp} = \frac{\int_{\tau_0}^{\tau_0+(24-\tau_i)} O_{2ji}(\tau) d\tau}{24 - \tau_i} \quad (17)$$

$\tau_0$  - время начала отсчета, ч.

7.8.3.1. При отсутствии непрерывного измерения содержания кислорода в дымовых газах в зоне установки дымомера допускается для определения коэффициента избытка воздуха  $\alpha_{ji}$  периодически (не реже одного раза в месяц) на трех различных нагрузках котла выполнять анализ состава дымовых газов переносным газоанализатором. При этом:

$$\alpha_{ji} = \frac{1}{1 - 3,76 \frac{O_{2ji}}{100 - (RO_{2ji} + O_{2ji})}} \quad , \quad (18)$$

где  $RO_{2ji}$  - содержание в дымовых газах многоатомных продуктов сгорания, %.

Значение  $\alpha_{ji}^{cp}$  определяется для среднесуточной нагрузки котла по графику зависимости коэффициента избытка воздуха  $\alpha$  в  $j$ -ом газоходе от нагрузки котла  $D$  (т/ч) или по формуле:

$$\alpha_{ji}^{cp} = \alpha_{Hj} + \Delta \alpha_{Hj} \left[ \left( \frac{D_H}{D_{cp}} \right)^{0,5} - 1 \right] \quad , \quad (19)$$

где  $D_H$  - номинальная паропроизводительность котла, т/ч;  
 $D_{cp}$  - среднесуточная или средняя за время паропроизводительность котла, т/ч

$$D_{cp} = \frac{D}{24} \quad \text{или} \quad D_{cp} = \frac{D}{24 - \tau_i}$$

$D$  - выработка пара котлом за сутки или за время  $(24 - \tau_i)$  т;

$\alpha_{nj}, \Delta\alpha_{nj}$  - коэффициент избытка воздуха в  $j$ -ом газоходе в зоне установки дымомера и величина присосов воздуха по тракту дымовых газов до места установки дымомера при номинальной нагрузке котла.

7.8.3.2. Допускается определение коэффициента избытка воздуха ( $\alpha'_{ji}$ ) в сечении газохода, отстоящем от сечения, в котором установлен дымомер, если величина присосов воздуха ( $\pm \Delta\alpha$ ) между указанными сечениями не превышает 2% величины  $\alpha_{ji}$ .

В этом случае

$$\alpha_{ji} = \alpha'_{ji} \pm \Delta\alpha \quad (20)$$

7.9. Выполнить оценку погрешности измерения валового выброса твердых частиц (единожды для принятой схемы измерения) для конкретного газохода в соответствии с обязательными приложениями 1, 2 и справочными приложениями 3, 4.

## 8. ПЕРИОДИЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ И ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

8.1. Измерение и расчет валового выброса твердых частиц по настоящей методике должны выполняться ежедневно.

8.2. С целью определения влияния на погрешность измерения оптических свойств и фракционного состава золы и частиц механического недожога топлива для котлоагрегатов и золоуловителей различных типов в период опытно-промышленной эксплуатации дымомера (в течение 6 месяцев с начала его использования) следует проводить его повторную градуировку не реже 1 раза в 2 месяца. По истечении периода опытно-промышленной эксплуатации градуировку дымомера следует проводить 1 раз в 6 месяцев. Новую градуировку следует выполнять также всякий раз при переходе на сжигание углей других марок, поскольку зола этих углей может иметь различные оптические свойства и фракционный состав.

Методика градуировки изложена во "Временной методике градуировки оптического дымомера АИД-210 "Энергия" в единицах массовой концентрации летучей золы" (М.: ВТИ, 1984).

8.3. Отчетность по валовому выбросу твердых частиц должна осуществляться ежеквартально и ежегодно по форме 2-ТП (воздух)



в соответствии с "Типовым положением об организации контроля за выбросами в атмосферу на тепловых электростанциях" (М., СПО "Союзтехэнерго", 1982).

## 9. ТРЕБОВАНИЯ К КВАЛИФИКАЦИИ ОПЕРАТОРОВ

9.1. Лица, осуществляющие контроль за содержанием твердых частиц в дымовых газах, а также выполняющие градуировку дымомера, измерение и расчет валового выброса твердых частиц, должны иметь квалификацию инженера-теплотехника.

9.2. Лица, осуществляющие ремонт и эксплуатацию дымомера, должны иметь квалификацию слесаря по автоматике и КИП не ниже 4 разряда.

Обслуживающий персонал должен быть ознакомлен с "Методикой выполнения измерений валового выброса твердых частиц с дымовыми газами" и с паспортом дымомера.

## 10. ТРЕБОВАНИЯ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

10.1. К работам по монтажу, наладке, настройке и эксплуатации дымомера допускаются лица, прошедшие инструктаж и проверку знаний "Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей", утвержденных Госэнергонадзором СССР; "Правил техники безопасности при эксплуатации теплотехнического оборудования электростанций и тепловых сетей" (М., Энергоатомиздат, 1985).

10.2. Монтаж осветителя и светоприемника дымомера следует проводить только во время останова котла.

10.3. Измерительный преобразователь дымомера должен быть установлен в вентилируемом взрывобезопасном помещении, освещенном в соответствии с нормами СНиП П-4-79 "Строительные нормы и правила. Естественное и искусственное освещение".

10.4. Работы по монтажу и ремонту дымомера должны производиться при отключенном напряжении питания. Прикосновение к деталям допускается не ранее, чем через 5 с после отключения

10.5. Запрещается подключать провода питания дымомера к электрической сети до завершения монтажа электрических соединений и заземления первичного и измерительного преобразователей.



Приложение I  
Обязательное

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ КОСВЕННОГО ИЗМЕРЕНИЯ  
ВАЛОВОГО ВЫБРОСА ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ПОКАЗАНИЙ ДЫМОМЕРА ЗА ОТЧЕТНЫЙ ПЕРИОД ДЛЯ  
КОНКРЕТНОГО ГАЗОХОДА

I. Определить суммарную абсолютную погрешность измерения средней за ближайшие сутки предшествовавшего периода, в течение которых котлоагрегат работал по характерному для него типовому графику нагрузки, концентрации  $\Delta \mu_j^{cp}$  (г/м<sup>3</sup>) твердых частиц в дымовых газах по формуле:

$$\Delta \mu_j^{cp} = \pm \sqrt{\Delta_0^2 + \Delta_{доп}^2 + \Delta_{\mu и}^2 + \Delta_{грj}^2 + \Delta_{Ncpj}^2}, \quad (21)$$

где  $\Delta_0$ ,  $\Delta_{доп}$ ,  $\Delta_{\mu и}$  - соответственно пределы допускаемых абсолютных погрешностей дымомера: основной, суммарной дополнительной и погрешности интегрирования сигнала дымомера, г/м<sup>3</sup>;

$\Delta_{грj}$  - предел допускаемой абсолютной погрешности градуировки дымомера в единицах массовой концентрации частиц, г/м<sup>3</sup>. Методика определения величины  $\Delta_{грj}$  изложена в обязательном приложении I данной Методики;

$\Delta_{Ncpj}$  - погрешность, возникающая вследствие нелинейности характеристики  $\mu-N$  дымомера при интегрировании за  $i$ -ый промежуток времени текущих значений непрозрачности среды вместо текущих значений концентрации, г/м<sup>3</sup>. При использовании для расчета валового выброса ЭВМ  $\Delta_{Ncpj} = 0$ .

I.I. Определить значения  $\Delta_0$ ,  $\Delta_{доп}$ ,  $\Delta_{\mu и}$  по формулам:

$$\Delta_0 = \lg \left( 1 - \frac{\Delta_{N_0}}{100 - N_H} \right)^a \quad (22)$$

$$\Delta_{доп} = \lg \left( 1 - \frac{\Delta N_{доп}}{100 - N_H} \right)^a \quad (23)$$

$$\Delta_{мн} = \lg \left( 1 - \frac{\Delta N_{мн}}{100 - N_j^{ср}} \right)^a, \quad (24)$$

где

$a$  - коэффициент в формуле (7), равный тангенсу угла  $\alpha$  (черт. 5, а);

$N_H$  - нормирующее значение диапазона измерения дымомера ( $N_H = 50\%$ ), %;

$N_j^{ср}$  - среднее за ближайшие сутки предшествовавшего периода, в течение которых котлоагрегат работал по характерному для него типовому графику нагрузки, значение непрозрачности дымовых газов, %;

$\Delta N_0$  и  $\Delta N_{доп}$  - соответственно пределы допускаемых основной и суммарной дополнительной абсолютных погрешностей дымомера, выраженные в единицах непрозрачности дымовых газов, %;

$\Delta N_{мн}$  - предел допускаемой абсолютной погрешности, возникающей при интегрировании сигнала дымомера, выраженный в единицах непрозрачности дымовых газов, %.

Значения  $\Delta N_0$ ,  $\Delta N_{доп}$  и  $\Delta N_{мн}$  определяются по формулам:

$$\Delta N_0 = \frac{\delta_0 \cdot N_H}{100} \quad (25)$$

$$\Delta N_{доп} = \frac{\delta_{доп} \cdot N_H}{100} \quad (26)$$

$$\Delta N_{мн} = \frac{\delta_{мн} \cdot N_j^{ср}}{100}, \quad (27)$$

где

$\delta_0$ ,  $\delta_{доп}$  и  $\delta_{мн}$  - соответственно пределы допускаемых относительных погрешностей дымомера: основной и суммарной дополнительной и погрешности интегрирования сигнала дымомера, %.

причем

$$\delta_{\text{доп}} = \sqrt{\sum_{t=1}^T \delta_{\text{доп}t}^2}, \quad (28)$$

где  $\delta_{\text{доп}1}, \delta_{\text{доп}2}, \dots, \delta_{\text{доп}t}$  - пределы допускаемых дополнительных погрешностей дымомера;

$t$  - порядковый номер дополнительной погрешности, число которых равно  $T$ .

$$\delta_{N_{\text{ср}}} = \sqrt{\delta_{N_{\text{приб}}}^2 + \delta_{N_{\text{опер}}}^2} \quad (29)$$

$\delta_{N_{\text{приб}}}$  - предел приведенной суммарной относительной погрешности используемого интегрирующего прибора или планиметра, вычисляемый квадратичным суммированием основной и приведенной дополнительной погрешностей, указанных в паспорте этого прибора;

$\delta_{N_{\text{опер}}}$  - относительная погрешность, возникающая вследствие ошибок оператора только при ручном планировании диаграммной ленты.

1.2. Значение  $\Delta_{N_{\text{ср}j}}$  следует определять по формуле:

$$\Delta_{N_{\text{ср}j}} = \frac{\delta_{N_{\text{ср}}} \cdot M_{N_{\text{ср}j}}}{100}, \quad (30)$$

где  $\delta_{N_{\text{ср}}}$  - предельная относительная погрешность, возникающая при интегрировании текущих значений непрозрачности среды вместо текущих значений концентрации вследствие нелинейности рабочей характеристики дымомера, %;

$M_{N_{\text{ср}j}}$  - концентрация частиц в дымовых газах, соответствующая  $N_{j_{\text{ср}}}$ , принимаемая по графику  $M-N$  для конкретного газохода.

2. Рассчитать предельную абсолютную погрешность определения среднего часового расхода дымовых газов в газоходах котла

$\Delta Q_{\text{ср}}$  (м<sup>3</sup>/ч) за ближайшие сутки предшествовавшего периода, в течение которых котлоагрегат работал по характерному для него типовому графику нагрузки по формуле:

$$\Delta Q_{\text{ср}} = \pm \sqrt{\Delta Q_{\delta}^2 + \Delta K_j^2 + \Delta Q_u^2}, \quad (31)$$

- где  $\Delta Q_{\delta}$  - предельная абсолютная погрешность определения расхода дымовых газов по обратному тепловому балансу котла, м<sup>3</sup>/ч;
- $\Delta K_j$  - предельная абсолютная погрешность, возникающая вследствие неравномерности раздачи дымовых газов по газоходам котла, м<sup>3</sup>/ч;
- $\Delta Q_u$  - предел допускаемой абсолютной погрешности, возникающей при определении среднесуточных значений  $\alpha_{ji}^{\text{ср}}$  и  $Q_i^{\text{ср}}$  м<sup>3</sup>/ч.

Значение  $\Delta Q_{\text{ср}}$  одинаково для всех газоходов котла при использовании для определения расхода газа в каждом газоходе однотипных приборов.

2.1. Определить значения  $\Delta Q_{\delta}$ ,  $\Delta K_j$  и  $\Delta Q_u$  по формулам:

$$\Delta Q_{\delta} = \frac{\delta Q_{\delta} \cdot Q_i^{\text{ср}}}{100} \quad (32)$$

$$\Delta K_j = \frac{\delta K_j \cdot Q_i^{\text{ср}}}{100} \quad (33)$$

$$\Delta Q_u = \frac{\delta Q_u \cdot Q_i^{\text{ср}}}{100},$$

- где  $\delta Q_{\delta}$  - предельная относительная приведенная погрешность определения суммарного расхода дымовых газов в газоходах котла по обратному тепловому балансу котла, %;
- $\delta K_j$  - предельная относительная погрешность определения коэффициента  $K_j$ , %;
- $\delta Q_u$  - предельная приведенная относительная погрешность, возникающая при определении среднесуточных значений  $\alpha_{ji}^{\text{ср}}$  и  $Q_i^{\text{ср}}$ , %;
- $Q_i^{\text{ср}}$  - средний часовой расход дымовых газов за ближайшие сутки предшествовавшего периода, в течение которых котлоагрегат работал по характерному для него типовому графику нагрузки, м<sup>3</sup>/ч;



2.2. Значение  $\delta_{Q\delta}$  определить по формуле:

$$\delta_{Q\delta} = 2 \sqrt{b_{к\delta}^2 + \frac{1}{3} c^2 \left( \delta_{\Delta\alpha_j \text{изм}}^2 + \sum_{j=1}^m \delta_{\Delta\alpha_j \text{вр}}^2 + \sum_{j=1}^m \delta_{\Delta\alpha_j \text{уст}}^2 \right)}, \quad (35)$$

- где  $b_{к\delta}$  - относительная среднеквадратичная погрешность определения по обратному тепловому балансу расхода дымовых газов через конвективный газоход котла в зоне за водяным экономайзером, %;
- $c$  - коэффициент, равный отношению количества воздуха, поступившего в газоходы котла вследствие присосов на участке между водяным экономайзером и зонами установки дымомеров, к суммарному расходу дымовых газов через газоходы в этих зонах;
- $m$  - число газоходов котла;
- $\delta_{\Delta\alpha_j \text{изм}}$  - предельная относительная погрешность определения избытков воздуха с помощью газоанализатора в одном газоходе (в % от  $V^0$ );
- $\delta_{\Delta\alpha_j \text{вр}}$  - предельная относительная погрешность, равная максимально возможному изменению присосов в  $j$ -м газоходе в зоне установки дымомера, в период между периодическими контрольными газовыми анализами, (в % от  $V^0$ );
- $\delta_{\Delta\alpha_j \text{уст}}$  - предельная относительная погрешность, равная максимальному изменению разности значений присосов между зоной установки дымомера и зоной отбора пробы к газоанализатору в  $j$ -м газоходе (в % от  $V^0$ ).

2.3. Значение  $c$  определить по формуле:

$$c = \frac{\sum_{j=1}^m \Delta\alpha_j K_j}{\alpha_{кг} + \rho + \sum_{j=1}^m \Delta\alpha_j K_j}, \quad (36)$$

- где  $\alpha_{кг}$  - коэффициент избытка воздуха в конвективном газоходе за водяным экономайзером;
- $\Delta\alpha_j$  - присосы воздуха в газоходы на участке водяной



экономайзер - зона установки дымомера в  $j$ -ом газоходе;

$\rho$  - отношение разности теоретических объемов продуктов сгорания и воздуха к теоретически необходимому объему воздуха.

2.4. Значение  $\delta_{\Delta\alpha_{j\text{изм}}}$  определить по формуле:

$$\delta_{\Delta\alpha_{j\text{изм}}} = \frac{21 \cdot \delta_{O_2} \cdot O_2}{(21 - O_2)^2 - (21 - O_2) \delta_{O_2} \cdot O_2 \cdot 10^{-2}}, \quad (37)$$

где  $\delta_{O_2}$  - предельная суммарная относительная погрешность определения содержания кислорода в дымовых газах, %.

$\delta_{O_2}$  включает следующие погрешности, значение которых суммируются квадратически:

для переносного газоанализатора - относительные погрешности отсчета по шкале измерительной бюретки, относительную погрешность из-за неполноты поглощения газа реактивом, относительную погрешность из-за растворимости газа в запирающей жидкости газоанализатора, относительную погрешность из-за недостаточной представительности пробы газа.

для автоматического кислородомера, например типа МН 5106-2 - основную приведенную погрешность, суммарную дополнительную погрешность, относительную погрешность устройства отбора пробы газа, относительную погрешность системы газоподготовки и относительную погрешность из-за недостаточной представительности пробы газа.

3. Определить предел суммарной абсолютной погрешности ( $\Delta_{M_{ji}, \tau$ ) косвенного измерения валового выброса твердых частиц в конкретном газоходе за ближайшие сутки, предшествующего периода, в течение которых котлоагрегат работал по характерному для него типовому графику нагрузки, по формуле:

$$\Delta_{M_{ji}} = \pm \sqrt{(\Delta_{M_i}^{\text{ср}} \cdot K_j \cdot Q_i^{\text{ср}} \cdot 24 \cdot 10^{-6})^2 + (\Delta_{Q^{\text{ср}}} M_j^{\text{ср}} \cdot 24 \cdot 10^{-6})^2} \quad (38)$$

4. Определить предел суммарной абсолютной погрешности косвенного измерения валового выброса твердых частиц  $(\Delta M_j)$  через конкретный газоход за отчетный период по формуле:

$$\Delta M_j = \sqrt{\left( \sum_{i=1}^n \Delta M_{ji} \text{ сист} \right)^2 + \sum_{i=1}^n \left( \Delta M_{ji} \text{ сл} \right)^2} \quad (39)$$

$\Delta M_{ji} \text{ сист}$ ;  $\Delta M_{ji} \text{ сл}$  - соответственно систематические и случайные составляющие абсолютной погрешности измерения валового выброса твердых частиц  $\Delta M_{ji}$

Поскольку в течение отчетного периода измерение валового выброса частиц осуществляется одним комплектом приборов, к случайным погрешностям можно отнести следующие погрешности:

$\Delta_{доп}$ ,  $\Delta_{пл}$  (при ручном планиметрировании диаграммной ленты),  
 $\Delta_{M_j}$ ,  $\Delta_{Q_{г}}$  (при отсутствии интегратора),  $\Delta_{д.г.вр}$ ,  $\Delta_{оср.г.г.}$ .  
 Случайная составляющая этих погрешностей много больше систематической. Остальные погрешности относятся к категории систематических, т.к. их систематическая составляющая много больше случайной. В частности, систематической является погрешность градуировки дымомера  $\Delta_{г.р}$ , так как градуировочная характеристика дымомера, устанавливающая связь между непрозрачностью (оптической плотностью) дымовых газов и массовой концентрацией твердых частиц, используется в течение всего отчетного периода.

5. Определить значение  $\Delta M_{ji} \text{ сист}$  или  $\Delta M_{ji} \text{ сл}$ , исключив из алгоритма расчета  $\Delta M_{ji}$  (из формул (21), (35), (32), (31), (38) Методики) соответственно все случайные или систематические погрешности.

6. Определить предел суммарной абсолютной погрешности измерения валового выброса твердых частиц  $(\Delta M, \tau)$  через все газоходы энергетического объекта по формуле:

$$\Delta M = \sqrt{\sum_{j=1}^m \Delta M_j^2} \quad (40)$$

7. Необходимые для оценки погрешности измерения валового выброса твердых частиц  $\Delta M$  значения составляющих погрешностей приведены в справочном приложении 3.

Пример оценки погрешности измерения валового выброса твердых частиц с помощью дымомера, установленного и отградуированного на котле ПП-950/255Ж Каширской ГРЭС рассмотрен в справочном приложении 4.

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ГРАДУИРОВКИ ОПТИЧЕСКОГО  
ДЫМОМЕРА АИД-210 "Энергия" В ЕДИНИЦАХ МАССОВОЙ  
КОНЦЕНТРАЦИИ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ В ДЫМОВЫХ ГАЗАХ

В процессе градуировки дымомера в каждом опыте необходимо:

1. Измерить значение расхода дымовых газов ( $Q_r$ ) по ГОСТ 12.3.018-79 трубкой Прандтля в сочетании с микроманометром типа ММН. Расчет выполнить по формуле:

$$Q_r = K_r \cdot F \left( \frac{2}{\rho} \right)^{0,5} \frac{\sum_{i=1}^z (P_{di})^{0,5} \cdot 3600}{z}, \quad \text{м}^3/\text{ч} \quad (41)$$

$F$  - площадь мерного сечения,  $\text{м}^2$ ;

$\rho$  - плотность дымовых газов,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$K_r$  - поправочный коэффициент, вычисляемый при градуировке дымомера по отношению полного расхода газа, определенного путем измерения локальных скоростей по всему сечению газотока, к расходу, определенному по 16 точкам сечения (черт. 3).  $K_r$  вводится только при повторных тарировках дымомера по 16 точкам сечения. При градуировке по всему сечению  $K_r = 1$ .

$P_{di}$  - динамическое давление потока газа в  $i$ -той точке мерного сечения, Па;

$z$  - количество точек мерного сечения, в которых осуществляется измерение локальной скорости газа.

2. Измерить значения расхода твердых частиц ( $G_z$ ) пылеотборной трубкой по "Временной методике градуировки оптического дымомера АИД-210 "Энергия" в единицах массовой концентрации летучей золы". Расчет выполнить по формуле:

$$G_z = 3,6 K_G \frac{F}{f \cdot \alpha_i \cdot z} \cdot \sum_{i=1}^z g_i \quad \text{кг}/\text{ч} \quad (42)$$

$f$  - проходное сечение пылеотборной трубки,  $\text{м}^2$ ;

$K_G$  - поправочный коэффициент, определяемый при градуировке дымомера аналогично коэффициенту  $K_r$  (формула (41));

$\tau_i$  - время отбора частиц в одной точке сечения газопотока (одинаково во всех точках), с;

$g_i$  - масса уловленных в каждой точке отбора пробы твердых частиц, г.

3. Рассчитать массовую концентрацию твердых частиц  $\mu$  (г/м<sup>3</sup>) по формуле:

$$\mu = \frac{G_z}{Q_T} \cdot 10^3 \quad (43)$$

4. Определить согласно п.п.7, 6.2.2 Методики среднюю непрозрачность дымовых газов  $N$  (%), равную среднему в течение опыта значению сигнала дымомера.

5. Рассчитать значение оптической плотности дымовых газов по формуле:

$$D = \lg \frac{100}{100-N} \quad (44)$$

6. Построить рабочую характеристику дымомера.

Для этого:

6.1. Следует аппроксимировать прямой

$$\mu = a(D - D_0) \quad (45)$$

точки с координатами  $D$  и  $\mu$  (рис.5,б), определив методом наименьших квадратов значения  $a$  и  $D_0$  по формулам:

$$a = \frac{\sum_1^n (\mu D) - \frac{1}{n} \sum_1^n \mu \sum_1^n D}{\sum_1^n D^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_1^n D \right)^2} \quad (46)$$

$$D_0 = \frac{\sum_1^n D^2 - \frac{1}{a} \sum_1^n (\mu D)}{\sum_1^n D}, \quad (47)$$

где  $n$  - количество точек (опытов).

Рассмотрим пример расчета коэффициентов  $a$  и  $D_0$  по результатам градуировки дымомера.

Положим в процессе градуировки получены точки с координатами:



Таблица 2

$\Delta$	0,55	0,591	0,564	0,616	0,75	0,73	0,614	0,344
$\mu$	3,33	3,18	3,47	3,86	4,65	4,34	3,11	1,71
$\Delta$	0,387	0,344	0,308	0,310	0,272			
$\mu$	1,98	1,22	1,61	1,57	1,03			

$$\sum_1^9 (\mu \Delta) = 0,55 \cdot 3,33 + 0,591 \cdot 3,18 + 0,564 \cdot 3,47 +$$

$$+ 0,616 \cdot 3,86 + 0,75 \cdot 4,65 + 0,73 \cdot 4,34 +$$

$$+ 0,614 \cdot 3,11 + 0,344 \cdot 1,71 + 0,387 \cdot 1,98 +$$

$$+ 0,344 \cdot 1,22 + 0,308 \cdot 1,61 + 0,310 \cdot 1,57 +$$

$$+ 0,272 \cdot 1,03 = 19,663$$

$$\sum_1^9 \mu = 3,33 + 3,18 + 3,47 + 3,86 + 4,65 + 4,34 + 3,11 + 1,71 + 1,98 +$$

$$+ 1,22 + 1,61 + 1,57 + 1,03 = 35,06$$

$$\sum_1^9 \Delta = 0,55 + 0,591 + 0,564 + 0,616 + 0,75 + 0,73 + 0,614 + 0,344 +$$

$$+ 0,387 + 0,344 + 0,308 + 0,310 + 0,272 = 6,38$$

$$\sum_1^9 \Delta^2 = 0,55^2 + 0,591^2 + 0,564^2 + 0,616^2 + 0,75^2 + 0,73^2 +$$

$$+ 0,614^2 + 0,344^2 + 0,387^2 + 0,344^2 + 0,308^2 + 0,310^2 +$$

$$+ 0,272^2 = 3,463$$

$$a = \frac{19,663 - \frac{1}{9} 35,06 \cdot 6,38}{3,463 - \frac{1}{9} (6,38)^2} = 7,40 \quad \Delta_0 = \frac{3,463 - \frac{1}{9} \cdot 19,663}{6,38} = 0,13$$

Уравнение (45) примет вид:

$$\mu = 7,4(\Delta - 0,13) \quad (48)$$

Построить график по результатам расчета (черт. 5,а).

6.2. Построить рабочую характеристику дымомера:  $\mu = f(N)$  (черт. 5,б), используя полученную зависимость  $\mu = f(\Delta)$  и принимая во внимание, что  $N = (1 - 10^{-\Delta}) \cdot 100$ .

7. Провести оценку погрешности градуировки оптического дымомера путем анализа уравнений (41)–(47). Для этого:



7.1. Определить предельную абсолютную погрешность измерения расхода дымовых газов ( $\Delta Q_r$  м<sup>3</sup>/ч) трубкой Прандтля по формуле:

$$\Delta Q_r = \frac{\delta_{Q_r} \cdot Q_r}{100} \quad (49)$$

$\delta_{Q_r}$  - предельная относительная погрешность определения расхода дымовых газов, %.

Величину  $\delta_{Q_r}$  определить в соответствии с ГОСТ 12.3.018-79 по формуле:

$$\delta_{Q_r} = (2\sigma_{Q_r} + \delta_{\varphi}) \quad (50)$$

$\sigma_{Q_r}$  - среднеквадратичная погрешность измерения расхода дымовых газов, обусловленная неточностью измерений расхода дымовых газов в процессе градуировки;

$\delta_{\varphi}$  - предельная относительная погрешность определения расхода дымовых газов, связанная с неравномерностью поля скоростей в мерном сечении.

Величины  $\delta_{\varphi}$  даны в табл.3.

Таблица 3

Форма мерного сечения	Число точек измерения	$\delta_{\varphi}$ % при расстоянии от места возмущения потока в газоходе до мерного сечения (в гидравлических диаметрах, $D_h$ )				
		1	2	3	5	>5
Круг	4	20	16	12	6	3
	8	16	12	10	5	2
	12	12	8	6	3	2
Прямоугольник	4	24	20	15	8	4
	16	12	8	6	3	2

$D_h = \frac{4F}{\Pi}$ ;  $F, \text{м}^2$ ;  $\Pi, \text{м}$  - соответственно, площадь и периметр сечения газохода.

Определить  $\sigma_{Q_r}$  по формуле:

$$\sigma_{Q_r} = \left( 4\sigma_F^2 + \frac{1}{4}\sigma_B^2 + \frac{1}{4}\sigma_t^2 + \frac{1}{4}\sigma_p^2 \right)^{0,5}, \quad (51)$$

где  $\sigma_F$  - среднеквадратичная погрешность определения размеров мерного сечения;

$\sigma_b, \sigma_p, \sigma_t$  - среднеквадратичные погрешности измерений соответственно барометрического давления окружающей среды ( $b$ ); динамического давления ( $p$ ) и температуры ( $t$ ) потока. Величины  $\sigma_b, \sigma_p, \sigma_t$  даны в табл.4.

Таблица 4

Показание прибора в долях длины шкалы	$\sigma_r, \sigma_z, \sigma_t, \%$	
	1,0	0,5
1,00	$\pm 0,5$	$\pm 0,25$
0,75	$\pm 0,75$	$\pm 0,375$
0,50	$\pm 1,0$	$\pm 0,5$
0,25	$\pm 2,0$	$\pm 1,0$
0,10	$\pm 5,0$	$\pm 2,5$
0,05	$\pm 10,0$	$\pm 5,0$

7.2. Определить предельную абсолютную погрешность  $\Delta G_z$  (кг/ч) измерения расхода твердых частиц пылеотборной трубкой по формуле:

$$\Delta G_z = \frac{\delta_{Q_r} \cdot G_z}{100} \quad (52)$$

$\delta_{Q_r}, \%$  - предельная относительная погрешность определения расхода твердых частиц, равная:

$$\delta_{G_z} = (2\sigma_{G_z} + \delta_n + \delta_{рас}) \quad (53)$$

$\sigma_{G_z}$  - среднеквадратичная относительная погрешность, обусловленная неточностью измерений расхода твердых частиц пылеотборной трубкой в процессе градуировки;

$\delta_n$  - предельная относительная погрешность, возникающая из-за неравномерности и нестабильности поля расхода твердых частиц по сечению газотока.  $\delta_n$  зависит от длины предвключенного прямого участка газотока, выраженной в калибрах  $D_n$  и количества точек отбора пробы пыли. Выравнивание поля концентраций тонких фракций твердых частиц диаметром до 3-5  $\mu\text{м}$  в слупной затопленной струе газа так же как и выравнивание поля концентраций газообразной примеси происходит приблизительно с той же

интенсивностью, что и выравнивание поля скоростей газа. Указанные тонкие фракции составляют обычно 40–80% расхода твердых частиц в мерном сечении газохода. И, хотя поле концентраций более грубых фракций выравнивается медленнее, но учитывая что выходной сигнал дымомера определяется прежде всего тонкими фракциями, в первом приближении  $\delta_n$  можно принять аналогично  $\delta_y$  по табл.3. Это позволяет устанавливать величину  $\delta_n$  в зависимости от длины предвключенного прямого участка газохода. Отметим, что абсолютная величина  $\delta_n$  сохраняется при этом в пределах, указанных в "Методических указаниях по испытаниям золоулавливающих установок ТЭС" (М.: СПО Союзтехэнерго, 1982) на основании экспериментальных данных.

$\delta_{рас}$  – предельная относительная погрешность, возникающая из-за рассогласования скоростей твердых частиц и дымовых газов, %.

По данным "Норм расчета и проектирования пылеприготовительных установок" (М.-Л.: Госэнергоиздат, 1958. 160 с)  $\delta_{рас}$  не превышает 1%.

Определить  $G_{Gz}$  по формуле:

$$\sigma_{Gz} = \pm (4\sigma_F^2 + 4\sigma_\varphi^2 + \sigma_g^2 + \sigma_{уст}^2 + \sigma_{тр}^2)^{0,5}, \quad (54)$$

- где
- $\sigma_F$  – среднеквадратичная погрешность определения размеров мерного сечения газохода, %;
  - $\sigma_\varphi$  – среднеквадратичная погрешность определения сечения пылеотборной трубки, %;
  - $\sigma_g$  – среднеквадратичная погрешность определения массы уловленных при каждом отборе пробы (в каждом опыте) твердых частиц, %;
  - $\sigma_{уст}$  – среднеквадратичная погрешность, возникающая от неправильной установки пылеотборной трубки относительно направления потока, %;
  - $\sigma_{тр}$  – среднеквадратичная погрешность, возникающая из-за неизокинетичности отсоса пробы газа, %.

7.3. Определить предельную абсолютную погрешность измерения массовой концентрации  $\Delta_m$  (г/м<sup>3</sup>) твердых частиц в дымовых газах по уравнению:

$$\Delta_M = \sqrt{\left(\frac{10^3 \cdot \Delta G_r}{Q_r}\right)^2 + \mu^2 \left(\frac{\Delta Q_r}{Q_r}\right)^2} \quad (55)$$

$G_r$  и  $Q_r$  - значения расходов твердых частиц и дымовых газов, измеренных при номинальной нагрузке котла кг/ч, м<sup>3</sup>/ч;

$\mu$  - отношение этих величин, г/м<sup>3</sup>.

7.4. Определить систематическую составляющую предельной абсолютной погрешности градуировки дымомера  $\Delta_c$  (г/м<sup>3</sup>) в единицах массовой концентрации по формуле:

$$\Delta_c = \sqrt{\Delta_M^2 + \Delta_0^2 + \Delta_{доп}^2} \quad (56)$$

$\Delta_0$  и  $\Delta_{доп}$  - значения погрешностей, определяемых согласно п.1 обязательного приложения I, г/м<sup>3</sup>.

7.5. Определить случайную составляющую абсолютной погрешности градуировки дымомера ( $S$ , г/м<sup>3</sup>) в единицах массовой концентрации по разбросу точек, координаты  $\mu$  и  $\Delta$  которых получены при градуировке, относительно аппроксимирующей прямой  $\mu = f(\Delta)$  по формуле:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}{n-1}}$$

$S$  - оценка среднего квадратического отклонения результата измерения концентрации твердых частиц;

$\Delta_i$  - отклонение по ординате каждой градуировочной точки от соответствующей точки на аппроксимирующей прямой

7.6. Определить суммарное среднее квадратическое отклонение результата градуировки дымомера ( $S_\Sigma$ , г/м<sup>3</sup>) в единицах массовой концентрации в соответствии с ГОСТ 8.207-76 по формуле:

$$S_\Sigma = \pm \sqrt{\frac{1}{3} \Delta_c^2 + S^2} \quad (58)$$

7.7. Определить предел допускаемой абсолютной погрешности градуировки дымомера  $\Delta_{доп}$  (г/м<sup>3</sup>) в единицах массовой концентрации с доверительной вероятностью 0,95 по формуле:

$$\Delta_{доп} = \pm 2 S_\Sigma \quad (59)$$



Приложение 3  
Справочное

ЗНАЧЕНИЯ ВЕЛИЧИН ПОГРЕШНОСТЕЙ,  
ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ КОСВЕННОГО  
ИЗМЕРЕНИЯ ВАЛОВОГО ВЫБРОСА ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ С  
ПОМОЩЬЮ ОПТИЧЕСКОГО ДЫМОМЕРА АИД-210  
"ЭНЕРГИЯ"

Таблица 5

Наименование погрешности	Обозначение	Величина	Источник информации
1. Основная погрешность дымомера, не более, %	$\delta_0$	$\pm 5$	Паспорт IE2.850.225ПС 1979 г.
2. Суммарная дополнительная погрешность дымомера, %	$\delta_{\text{доп}}$	$\pm 10$	По оценке, выполненной на основании паспортных данных дымомера
3. Основная погрешность интегрирующего прибора типа ПВИ-7, отнесенная к значению интеграла по времени от входного сигнала, не превышает, %	$\delta_{\text{ин}}$	$\pm 0,25$	Технические данные ПВИ-7
4. Суммарная дополнительная погрешность интегрирующего прибора типа ПВИ-7, отнесенная к значению интеграла по времени от входного сигнала, не превышает, %	$\delta_{\text{доп. и}}$	$\pm 0,9$	Квадратичное суммирование дополнительных погрешностей интегратора ПВИ-7
5. Общая погрешность интегрирующего прибора типа ПВИ-7, отнесенная к значению интеграла по времени от входного сигнала, не превышает, %	$\delta_{\text{общ}}$	$\pm 1,0$	Квадратичное суммирование основной и суммарной дополнительной погрешностей интегратора ПВИ-7
6. Общая погрешность планиметрирования диаграммной ленты, не превышает, %	$\delta_{\text{пл}}$	$\pm 5,0$	По оценке, выполненной на основании паспортных данных планиметра



Продолжение табл.5

Наименование погрешности	Обозначение	Величина	Источник информации
7. Предельная относительная погрешность, возникающая при интегрировании текущих значений непрозрачности среды вместо текущих значений концентрации вследствие нелинейности рабочей характеристики дымомера, не превышает, %	$\delta_{N_{ср}}$	$\pm 6$	Оценка выполнена по отчету ВТИ им.Ф.Э.Дзержинского, арх.№ 12327, М., 1983
8. Предельная относительная погрешность определения расхода дымовых газов, связанная с неравномерностью поля скоростей в мерном сечении, %	$\delta_{\varphi}$	По табл.3	ГОСТ 12.3.018-79
9. Среднеквадратичная погрешность определения размеров мерного сечения не более, %	$\sigma_{\Gamma}$	$\pm 2$	ГОСТ 12.3.018-79
10. Среднеквадратичные погрешности измерений соответственно барометрического давления окружающей среды ( $\delta$ ), динамического давления ( $\rho$ ) и температуры ( $t$ ) потока, %	$\sigma_{\delta}$ $\sigma_{\rho}$ $\sigma_t$	см.Обязательное приложение 2	ГОСТ 12.5.018-79
11. Предельная относительная погрешность, возникающая из-за неравномерности и нестациональности поля расходов твердых частиц по сечению газохода, %	$\delta_n$	По табл.3	ГОСТ 12.3.018-79
12. Предельная относительная погрешность, возникающая из-за рассогласования скоростей твердых частиц и дымовых газов не превышает, %	$\delta_{рас}$	$\pm 1,0$	По данным "Норм расчета и проектирования пылеприготовительных установок" М.-Л.: Госэнергоиздат, 1958

Продолжение табл.5

Наименование погрешности	Обозначение	Величина	Источник информации
13. Среднеквадратичная погрешность определения сечения пылеотборной трубки, не более, %	$\delta_{\varphi}$	$\pm 2$	ГОСТ 12.3.018-79
14. Среднеквадратичная погрешность определения массы уловленных при отборе пробы твердых частиц, ориентировочно	$\delta_{gi}$	$\pm 1,0$	Методические указания по испытаниям золоулавливающих установок тепловых электростанций. СПО Союзтехэнерго, 1982
15. Среднеквадратичная погрешность, возникающая из-за неизокинетичности отсоса пробы газа, ориентировочно, %	$\delta_{tr}$	$\pm 2,0$	-"-
16. Среднеквадратичная погрешность, возникающая от неправильной установки пылеотборной трубки относительно направления потока, ориентировочно, %	$\delta_{уст}$	$\pm 1,5$	-"-
17. Относительная погрешность определения по обратному тепловому балансу расхода дымовых газов через конвективный газоход котла в зоне за водяным экономайзером, %	$\delta_{kd}$	$\pm 8,5$	По оценке ВТИ им. Ф.Э.Дзержинского, выполненной по отчету "Алгоритм автоматизированного расчета валового выброса окислов азота и серы на энергоблоках ТЭС" Авт. Рузавков В.Н.
18. Предельная суммарная относительная погрешность определения содержания кислорода в дымовых газах при доверительной вероятности 0,95, не более, %	$\delta_{O_2}$	$\pm 9,5$	Технические данные газоанализаторов ГХП-ЗМ, МН 5106-2

Продолжение табл.5

Наименование погрешности	Обозначение	Величина	Источник информации
19. Предельная относительная погрешность, равная максимально возможному изменению присосов в зоне установки дымомера в период между периодическими контрольными газовыми анализами, ориентировочно, %	$\delta_{\alpha j \text{вр}}$	$\pm 15,0$	Из опыта эксплуатации котлоагрегатов ТЭС
20. Предельная относительная погрешность, равная максимальному изменению разности значений присосов между зоной установки дымомера и зоной отбора пробы к газоанализатору, не более, %	$\delta_{\alpha j \text{уст}}$	$\pm 2,0$	п.п.7.8.3.2 методики
21. Предельная относительная погрешность определения коэффициента $K_j$ ориентировочно, %	$\delta_{K_j}$	$\pm 10,0$	На основании опыта эксплуатации котлоагрегатов ТЭС
22. Предельная приведенная относительная погрешность, возникающая при определении расходов дымовых газов:  при использовании интегратора для определения среднесуточного содержания кислорода в дымовых газах, %	$\delta_{Q_{\text{ц}}}$	$\pm 1,0$	Технические данные интегратора ПВИ-4
при отсутствии интегратора, %	$\delta_{Q_{\text{ц}}}$	$\pm 6,0$	На основании опыта эксплуатации котлоагрегатов ТЭС

Приложение 4  
Справочное

ПРИМЕР ОЦЕНКИ ПОГРЕШНОСТИ КОСВЕННОГО ИЗМЕРЕНИЯ  
ВАЛОВОГО ВЫБРОСА ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ С ПОМОЩЬЮ ДЫМОМЕРА

В качестве примера выполнена оценка погрешности измерения валового выброса твердых частиц на котле III 950/255М Каширской ГРЭС, сжигающем кузнецкий уголь.

Котел состоит из двух корпусов. Каждый корпус оборудован двумя электрофильтрами типа ПГД(УГ)-50-4. За каждым электрофильтром в газоходе установлен дымомер.

К моменту проведения оценки погрешности был отградуирован лишь один дымомер. Поэтому для оценки на основании эксплуатационных испытаний котлоагрегата принято, что средняя за сутки концентрация твердых частиц в каждом из 4-х газоходов котла составляет примерно  $2 \text{ г/м}^3$ , а средний за сутки расход дымовых газов -  $0,3 \cdot 10^6 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Расчет погрешности проводится в следующей последовательности:

I. Определить значение абсолютных погрешностей

$\Delta N_0$ ,  $\Delta N_{\text{доп}}$ ,  $\Delta N_{\text{ц}}$  и  $\Delta N$ :

$$\Delta N_0 = \frac{\tilde{\delta}_0 \cdot N_H}{100} = \frac{5 \cdot 50}{100} = 2,5 \% ;$$

$$\Delta N_{\text{доп}} = \frac{N_{\text{доп}} \cdot N_H}{100} = \frac{10 \cdot 50}{100} = 5,0 \% ;$$

$$\Delta N_{\text{ц}} = \frac{\tilde{\delta}_{N_{\text{ц}}} \cdot N_j^{\text{ср}}}{100} = \frac{5 \cdot 60}{100} = 3,0 \% .$$

При этом значение  $N_j^{\text{ср}} = 60\%$  - было определено планиметрированием диаграммной ленты за сутки, в течение которых котлоагрегат работал по типовому графику нагрузки.



2. Определить значение абсолютных погрешностей

$\Delta_0$ ,  $\Delta_{доп}$ ,  $\Delta_{мн}$  :

$$\Delta_0 = \lg \left( 1 - \frac{\Delta_{N_0}}{100 - N_H} \right)^a = \lg \left( 1 - \frac{2,5}{100 - 50} \right)^{7,4} = 0,165 \text{ г/м}^3;$$

$$\Delta_{доп} = \lg \left( 1 - \frac{\Delta_{N_{доп}}}{100 - N_H} \right)^a = \lg \left( 1 - \frac{5,0}{100 - 50} \right)^{7,4} = 0,34 \text{ г/м}^3;$$

$$\Delta_{мн} = \lg \left( 1 - \frac{\Delta_{N_i}}{100 - N_i} \right)^a = \lg \left( 1 - \frac{3,0}{100 - 60} \right)^{7,4} = 0,25 \text{ г/м}^3.$$

Значение коэффициента  $a = 7,4$  было определено при градуировке дымомера в единицах массовой концентрации твердых частиц в дымовых газах.

3. Определить значения относительных погрешностей

$\sigma_{Q_r}$  и  $\sigma_{G_T}$  :

$$\sigma_{Q_r} = \left( 4\sigma_F^2 + \frac{1}{4}\sigma_B^2 + \frac{1}{4}\sigma_v^2 + \frac{1}{4}\sigma_p^2 \right)^{0,5} = \left( 4 \cdot 2^2 + \frac{1}{4} \cdot 1^2 + \frac{1}{4} \cdot 1^2 + \frac{1}{4} \cdot 1^2 \right)^{0,5} = 4,09\%$$

$$\sigma_{G_T} = \left( 4\sigma_F^2 + 4\sigma_p^2 + \sigma_{g_i}^2 + \sigma_{уст}^2 + \sigma_{ТР}^2 \right)^{0,5} = \left( 4 \cdot 2^2 + 4 \cdot 2^2 + 1^2 + 1,5^2 + 2^2 \right)^{0,5} = 6,26\%$$

4. Определить значения относительных погрешностей  $\delta_{Q_r}$  и  $\delta_{G_T}$  :

$$\delta_{Q_r} = (2\sigma_{Q_r} + \delta_{\varphi}) = (2 \cdot 4,09 + 6) = 14,18\% ;$$

$$\delta_{G_T} = (2\sigma_{G_T} + \delta_n + \delta_{рас}) = (2 \cdot 6,26 + 6 + 1) = 19,52\% .$$

5. Определить значения абсолютных погрешностей  $\Delta_{Q_r}$  и  $\Delta_{G_T}$  :

$$\Delta_{Q_r} = \frac{\delta_{Q_r} \cdot Q_r}{100} = \frac{14,18 \cdot 3 \cdot 10^5}{100} = 42540 \text{ м}^3/\text{ч} ;$$

$$\Delta_{G_T} = \frac{\delta_{G_T} \cdot G_T}{100} = \frac{19,52 \cdot 600}{100} = 117,12 \text{ кг/ч} .$$

6. Определить значение абсолютной погрешности  $\Delta_{\mu}$ :

$$\Delta_{\mu} = \sqrt{\left(\frac{10^3 \cdot \Delta G_z}{Q_r}\right)^2 + \mu^2 \left(\frac{\Delta Q_r}{Q_r}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{10^3 \cdot 17,12}{3 \cdot 10^5}\right)^2 + 2^2 \left(\frac{42540}{3 \cdot 10^5}\right)^2} = 0,48 \text{ г/м}^3.$$

7. Определить значение систематической составляющей абсолютной погрешности  $\Delta_c$ :

$$\Delta_c = \sqrt{\Delta_{\mu}^2 + \Delta_0^2 + \Delta_{доп}^2} = \sqrt{0,48^2 + 0,165^2 + 0,34^2} = 0,613 \text{ г/м}^3.$$

8. Определить значение случайной составляющей абсолютной погрешности

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}{n-1}} =$$

$$= \sqrt{\frac{0,22^2 + 0,23^2 + 0,26^2 + 0,26^2 + 0,06^2 + 0,1^2 + 0,47^2 + 0,13^2 + 0,08^2 + 0,36^2 + 0,29^2 + 0,24^2 + 0,02^2}{12}} =$$

$$= 0,25 \text{ г/м}^3.$$

9. Определить значения погрешностей  $S_{\Sigma}$  и  $\Delta_{2\sigma}$ :

$$S_{\Sigma} = \sqrt{\frac{1}{3} \Delta_c^2 + S^2} = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot 0,613^2 + 0,25^2} = 0,43 \text{ г/м}^3;$$

$$\Delta_{2\sigma} = 2 S_{\Sigma} = 2 \cdot 0,43 = 0,86 \text{ г/м}^3$$

10. Определить значение погрешности  $\Delta_{N_{срj}}$ :

$$\Delta_{N_{срj}} = \frac{\sigma_{N_{ср}} \cdot \mu_{N_{срj}}}{100} = \frac{6 \cdot 2}{100} = 0,12 \text{ г/м}^3.$$

II. Определить значение  $\Delta_{M_j}^{\text{эф}}$ :

$$\Delta_{M_j}^{\text{эф}} = \sqrt{\Delta_0^2 + \Delta_{\text{доп}}^2 + \Delta_{M_{\text{и}}}^2 + \Delta_{2\varphi}^2 + \Delta_{N_j}^{\text{эф}2}} =$$

$$= \sqrt{0,165^2 + 0,34^2 + 0,25^2 + 0,86^2 + 0,12^2} = 0,98 \text{ г/м}^3.$$

12. Определить значение относительной погрешности  $\delta_{\alpha_{j\text{изм}}}$ :

$$\delta_{\alpha_{j\text{изм}}} = \frac{21 \delta_{O_2} \cdot O_2}{(21 - O_2)^2 - (21 - O_2) \delta_{O_2} \cdot O_2 \cdot 10^{-2}} = \frac{21 \cdot 9,5 \cdot 8,0}{(21 - 8,0)^2 - (21 - 8,0) \cdot 9,5 \cdot 8,0 \cdot 10^{-2}} = 10,03\%$$

13. Определить значение коэффициента

$$C = \frac{\sum_{j=1}^m \Delta \alpha_j K_j}{\alpha_{\text{кт}} + \rho + \sum_{j=1}^m \Delta \alpha_j K_j} = \frac{4 \cdot 0,35 \cdot 0,25}{1,25 + 0,08 + 4 \cdot 0,35 \cdot 0,25} = 0,208.$$

При этом расходы дымовых газов и присосы воздуха в 4-х газоходах котла приняты одинаковыми.

14. Определить значение относительной погрешности  $\delta_{Q_{\text{с}}}$ :

$$\delta_{Q_{\text{с}}} = 2 \sqrt{\delta_{\text{кв}}^2 + \frac{1}{3} C^2 \left( \delta_{\alpha_{j\text{изм}}}^2 + \sum_{j=1}^m \delta_{\alpha_{j\text{вр}}}^2 + \sum_{j=1}^m \delta_{\alpha_{j\text{уст}}}^2 \right)} =$$

$$= 2 \sqrt{3,5^2 + \frac{1}{3} \cdot 0,208^2 (10,03^2 + 4 \cdot 15^2 + 4 \cdot 2^2)} = 10,6\%.$$

15. Определить значения погрешностей  $\Delta_{Q_{\text{с}}}$ ,  $\Delta_{K_j}$  и  $\Delta_{Q_{\text{и}}}$ :

$$\Delta_{Q\delta} = \frac{\delta_{Q\delta} \cdot Q_i^{cp}}{100} = \frac{10,6 \cdot 1,2 \cdot 10^6}{100} = 127,2 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$\Delta_{K_j} = \frac{\delta_{K_j} \cdot Q_i^{cp}}{100} = \frac{10,0 \cdot 1,2 \cdot 10^6}{100} = 120,0 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$\Delta_{Q_u} = \frac{\delta_{Q_u} \cdot Q_i^{cp}}{100} = \frac{6 \cdot 1,2 \cdot 10^6}{100} = 72,0 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

16. Определить значение погрешности  $\Delta_{Q^{cp}}$ :

$$\Delta_{Q^{cp}} = \sqrt{\Delta_{Q\delta}^2 + \Delta_{K_j}^2 + \Delta_{Q_u}^2} = \sqrt{(127,2 \cdot 10^3)^2 + (120,0 \cdot 10^3)^2 + (72,0 \cdot 10^3)^2} =$$

$$= 189,1 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

17. Определить значение погрешности  $\Delta_{M_{ji}}$

$$\Delta_{M_{ji}} = \sqrt{(\Delta_{M_i} \cdot K_j \cdot Q_i^{cp} \cdot 24 \cdot 10^{-6})^2 + (\Delta_{Q^{cp}} \cdot M_j^{cp} \cdot 24 \cdot 10^{-6})^2} =$$

$$= \sqrt{(0,98 \cdot 0,25 \cdot 1,2 \cdot 10^6 \cdot 24 \cdot 10^{-6})^2 + (189,1 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 24 \cdot 10^{-6})^2} = 11,5 \text{ м}$$

18. Определить значение  $\Delta_{M_{j\text{суст}}}$ , исключив случайные погрешности из алгоритма расчета  $\Delta_{M_{ji}}$

$$\Delta_{M_{j\text{суст}}}^{cp} = \sqrt{\Delta_0^2 + \Delta_{2p}^2 + \Delta_{N_j}^2} = \sqrt{0,165^2 + 0,86^2 + 0,12^2} = 0,88 \text{ г/м}^3;$$

$$\delta_{Q\delta\text{суст}} = 2 \sqrt{\delta_{K\delta}^2 + \frac{1}{3} C^2 \left( \delta_{\Delta\alpha_j\text{изм}}^2 + \sum_{j=1}^m \delta_{\Delta\alpha_j\text{уст}}^2 \right)} =$$

$$= 2 \sqrt{3,5^2 + \frac{1}{3} \cdot 0,208^2 (10,03^2 + 4 \cdot 2^2)} = 7,75 \% ;$$



$$\Delta Q_{\text{смет}}^{\text{ср}} = \Delta Q_{\text{факт}} = \frac{\delta Q_{\text{факт}} \cdot Q_i^{\text{ср}}}{100} = \frac{7,75 \cdot 1,2 \cdot 10^6}{100} = 93,0 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$\Delta M_{j\text{смет}} = \sqrt{(\Delta M_{j\text{смет}}^{\text{ср}} \cdot K_j \cdot Q_i^{\text{ср}} \cdot 24 \cdot 10^{-6})^2 + (\Delta Q_{\text{смет}}^{\text{ср}} \cdot M_i^{\text{ср}} \cdot 24 \cdot 10^{-6})^2} =$$

$$= \sqrt{(0,88 \cdot 0,25 \cdot 1,2 \cdot 10^6 \cdot 24 \cdot 10^{-6})^2 + (93,0 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 24 \cdot 10^{-6})^2} = 7,8 \text{ м};$$

$$\Delta M_{j\text{факт}} = \sqrt{\Delta M_{ji}^2 - \Delta M_{j\text{смет}}^2} = \sqrt{11,5^2 - 7,8^2} = 8,5 \text{ м}.$$

19. Определить значение погрешности  $\Delta M_j$  за отчетный период

$$\Delta M_j = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n \Delta M_{j\text{смет}}\right)^2 + \sum_{i=1}^n (\Delta M_{j\text{факт}})^2};$$

за месяц

$$\Delta M_j = \sqrt{(30 \cdot 7,8)^2 + 30 \cdot 8,5^2} = 239 \text{ м};$$

за квартал

$$\Delta M_j = \sqrt{(92 \cdot 7,8)^2 + 92 \cdot 8,5^2} = 722 \text{ м};$$

за год

$$\Delta M_j = \sqrt{(365 \cdot 7,8)^2 + 365 \cdot 8,5^2} = 2852 \text{ м}.$$

20. Определить предел суммарной абсолютной погрешности измерения валового выброса твердых частиц  $\Delta M$  через все газоходы котла:

$$\Delta M = \sqrt{\sum_{j=1}^n \Delta M_j^2};$$

за сутки

$$\Delta_M = \sqrt{4 \cdot 11,5^2} = 23,0 \text{ м} ;$$

за месяц

$$\Delta_M = \sqrt{4 \cdot 239^2} = 478 \text{ м} ;$$

за квартал

$$\Delta_M = \sqrt{4 \cdot 722^2} = 1444 \text{ м} ;$$

за год

$$\Delta_M = \sqrt{4 \cdot 2852^2} = 5704 \text{ м} .$$

21. Результаты расчета свести в следующую таблицу:

Таблица 6

Период	Валовый выброс твердых частиц, т		Предельные приведенные погрешнос- ти измерения валового выброса твердых частиц			
	через один газо- ход котла	через все газо- ходы котла	через один газоход котла	относи- тельные, %	через все газо- ходы котла	относи- тельные, %
Сутки	14,4	57,6	11,5	80	23,0	40
Месяц	432	1728	239	55,3	478	27,6
Квартал	1325	5300	722	54,5	1444	27,2
Год	5256	21024	2852	54,3	5704	27,1

---

**РГ ВТМ Заказ № 215 Тираж 850 экз,  
Цена 60 коп.**