

**ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ПРИРОДНЫХ ГАЗОВ И ГАЗОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ (ВНИИГАЗ)**

**ВРЕМЕННАЯ ИНСТРУКЦИЯ
ПО ПРОВЕДЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ
ИЗМЕРЕНИЙ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ
ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК
НА КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЯХ**

РД 51-164-92

МОСКВА 1992

ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ПРИРОДНЫХ
ГАЗОВ И ГАЗОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ (ВНИИГАЗ)

СОГЛАСОВАНО

ЗАМ. МИНИСТРА ЭКОЛОГИИ И
ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

 Н. Г. РЫБАЛЬСКИЙ

"15" мая 1992 г.

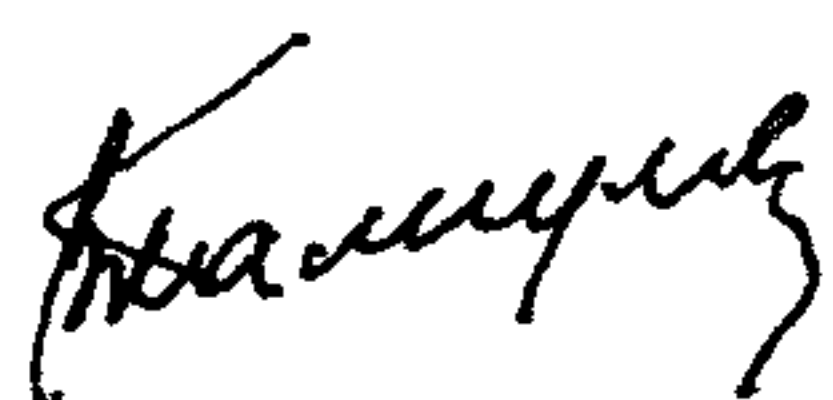
ЗАМ. ПРЕДСЕДАТЕЛЯ
ГОСУДАРСТВЕННОГО ГАЗОВОГО
КОНЦЕРНА "ГАЗПРОМ"

 Р. И. ВЯХИРЕВ

"30" мая 1992 г.

ВРЕМЕННАЯ ИНСТРУКЦИЯ
ПО ПРОВЕДЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ВРЕДНЫХ
ВЫБРОСОВ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК НА КОМПРЕССОРНЫХ
СТАНЦИЯХ

РД 51-164-92

ДИРЕКТОР ВНИИГАЗа  А. И. ГРИЩЕНКО

НАЧАЛЬНИК ЛАБОРАТОРИИ
ГАЗОТУРБИННЫХ ГАЗОПЕРЕ-  В. А. ШУРОВСКИЙ
КАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ

Москва
1992

УДК 628.512:681.122:621.51/(083.95)

Изложены порядок подготовки и проведения экологических испытаний (контрольных измерений показателей токсичности выхлопных продуктов сгорания) газотурбинных газоперекачивающих агрегатов.

Замечания и предложения по настоящей инструкции направлять по адресу: 142717, Московская обл., Ленинский р-н, пос.Развилка, ВНИИГАЗ, лаборатория газотурбинных ГПА; тел. 399-94-57.

I. Общие положения

I.1. Целью испытаний является определение показателей выброса вредных веществ (ВВ) в выхлопных газах газотурбинных установок и проверка их соответствия паспортным (среднестатистическим) данным.

I.2. Инструкция распространяется на агрегаты типа Центавр; ГТ-700-5; ГТК-5; ГТ-750-6; ГТ-6-750; ГТН-6; ГПА-Ц-6,3; ГПА-Ц-8; ГПУ-10; ГТК-10; ГТНР-10; ГТН-10И; Коберра-182; ГТН-16; ГПА-Ц-16; ГПУ-16; ГТН-25; ГТН-25И.

I.3. Инструкция разработана применительно к использованию переносного газсанализатора типа "Тесто-33" (фирма "Тестотерм", Германия). Возможно применение других газоанализаторов с подобными техническими данными, а также использование других методов анализа проб продуктов сгорания.

I.4. Инструкция предназначена для периодических испытаний (один раз в полгода-год, что должно быть уточнено на основе опыта ее использования). Возможно использование инструкции для оценки эффективности модернизаций ГПА с целью снижения вредных выбросов; однако в данном случае целесообразно проводить испытания по специальной "программе-методике" с расширенным объемом измерений.

I.5. Природный газ, перекачиваемый по газопроводам, используемый в качестве топливного газа ГПА и подаваемый потребителю (ГОСТ 5542-87), практически не содержит соединений серы. Поэтому при измерении концентрации ангидрида серы (SO_2) получают значения, близкие к нулю и данный компонент не является предметом контроля и учета в номенклатуре ВВ.

I.6. Камеры сгорания современных ГТУ обеспечивают высокий уровень полноты сгорания топлива (к.п.д. 98,5-99,5 %). Поэтому содержание несгоревших углеводородов (в частности, метана CH_4) как правило, находится в пределах точности средств измерения. Поэтому концентрация несгоревших углеводородов также не является предметом контроля и учета в номенклатуре ВВ.

I.7. Основными компонентами продуктов сгорания для контроля являются оксиды азота и углерода.

2. Подготовка турбоагрегата к испытаниям

Подготовка мест для отбора проб выхлопных газов производится

на остановленном агрегате.

2.1. Отбор проб продуктов сгорания производится через отверстия диаметром 12 мм, которые следует просверлить в следующих местах:

- агрегаты типа Коберра-182, ГПУ-16, ГТН-25 - в центре люка для осмотра регенератора, выхлопной шахты или утилизатора тепла уходящих газов;

- агрегаты типа Центавр - на срезе выхлопной шахты с использованием удлинителя на зонд;

- агрегаты типа ГТ-6-750 - в зоне штатного измерения температуры за ТНД;

- агрегаты типа ГТН-6 и ГТН-16 - на прямом участке выхлопного газохода;

- агрегаты типа ГПА-Ц-6,3, ГПА-Ц-8 и ГПА-Ц-16 - в районе трубы подогрева циклового воздуха, на высоте, равной расстоянию от крыши блока двигателя до оси трубы подогрева;

- агрегаты типа ГПУ-10 - на агрегатах, оснащенных утилизатором тепла уходящих газов - в центре переходника от выхлопной шахты к утилизатору; на агрегатах без утилизатора - в середине стенки шумоглушителя; при этом отверстие следует сориентировать так, чтобы оно находилось между секциями шумоглушителя и обеспечивалась возможность ввести пробоотборник на необходимую глубину;

- агрегаты типа ГТН-10И - в середине стенки выхлопной шахты на расстоянии 1,0 - 1,2 м от крыши;

- агрегаты типа ГТН-25И - используются штатные места для измерения температуры продуктов сгорания за утилизатором. Для этого перед началом измерений вывернуть штатную карман-гильзу или просверлить ее дно до 0 - 12 мм;

- агрегаты типа ГТ-700-5, ГТК-5, ГТ-750-6 и ГТК-10 в центре люка для осмотра регенератора, выхлопной шахты или утилизатора тепла уходящих газов, или на горизонтальном участке каждого газохода, расположенного в пределах машзала. Место отбора пробы определяется эксплуатационным персоналом, исходя из удобств проведения работ.

2.2. Точки отбора проб и необходимая глубина погружения зонца указана в табл.2.1 и на рис. 2.1.

Таблица 2.1

Место отбора проб продуктов сгорания

Тип ГПА	Место отбора пробы продуктов сгорания	Глубина погружения пробоотборника, L, мм
Центавр	На срезе выхлопной шахты	>400
ГТ-700-5 (ГТК-5)	Центр люка для осмотра регенератора	>400
ГТ-750-6	Центр люка для осмотра регенератора	>400
ГТ-6-750	В зоне штатного измерения температуры за ТНД	>400
ГТН-6	Вертикальный участок вых- лопного газохода	>400
ГПА-Ц-6,3(8)	Центр люка для осмотра выхлопной шахты	>400
ГПУ-10	Переходник от выхлопной шахты к утилизатору	>400
ГТК-10 (ГТНР-10)	Горизонтальный участок вых- лопного газохода в пределах машзала	>400
ГТН-10И	Середина стенки выхлопной шахты	>400
Коберра-182	Центр люка для осмотра выхлопной шахты	>400
ГТН-16	Вертикальный участок выхлопного газохода	>400
ГПА-Ц-16	Центр люка для осмотра выхлопной шахты	>1000
ГПУ-16	Центр люка для осмотра утилизатора	>400
ГТН-25	Центр люка для осмотра выхлопной шахты	>200

Продолжение табл. 2.1

Тип ГПА	Место отбора пробы продуктов сгорания	Глубина погружения пробоотборника, L , мм
ГТН-25И	Места установки штатных карманов для измерения температуры продуктов сгорания после утили- затора	>500

3. Объем и условия проведения измерений, измеряемые параметры

3.1. Для проведения измерений должна быть обеспечена возможность работы ГТУ (нагрузка) на рабочих режимах в пределах ограничений, предусмотренных инструкцией по эксплуатации или условиям работы газопровода.

3.2. В выхлопных газах ГТУ производятся измерения концентраций:

- оксидов азота NO_x (включая определение соотношения оксида и диоксида NO_2);
- оксида углерода CO ;
- кислорода O_2 ;
- диоксида углерода CO_2 .

Одновременно на режимах испытаний проводится регистрация основных теплотехнических параметров ГТУ. Типовой перечень измеряемых параметров приведен в табл. 3.1.

3.3. На агрегатах типа ГТ-700-6, ГТК-5, ГТ-750-6 и ГТК-10 анализ продуктов сгорания проводится в обоих газоходах с последующим осреднением результатов измерений.

3.4. Измерения параметров производятся на нескольких режимах (не менее 3-х) в диапазоне нагрузок от 60-70 % до максимальной, определяемой условиями испытаний.

3.5. Измерения проводятся на установившихся режимах, т.е. когда отклонения основных параметров (температур продуктов сгорания и воздуха, частот вращения) не превышают $\pm 1\%$, concentra-

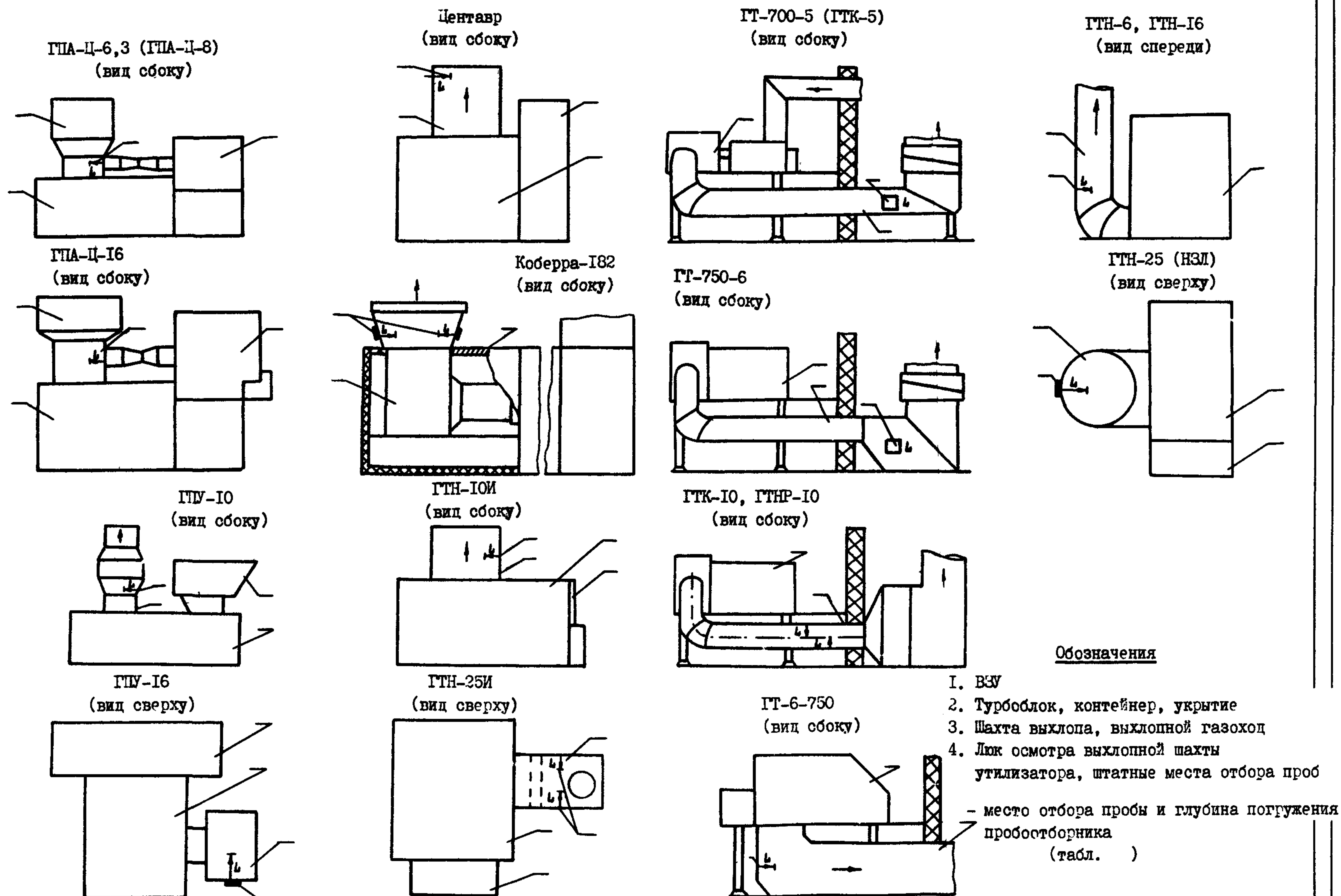


Рис. 2.1. Места отбора проб продуктов сгорания

ций: NO , NO_2 , CO - $\pm 2 \text{ ppm}$; O_2 , CO_2 - $\pm 0,1 \%$.

3.6. При необходимости в качестве удлинителя к зонду используется трубка из стали $1\text{x}18\text{H}9(10)\text{T}$, а переходника - трубка из тефлона. Все места соединений должны быть тщательно герметизированы.

Таблица 3.1.

Типовой перечень измеряемых параметров

Наименование параметра	Обозн.	Разм.	Примечание
I	2	3	4
Барометрическое давление	B	кг/см^2	
Температура атмосферного воздуха	t_a	$^{\circ}\text{C}$	
Температура воздуха на входе в компрессор	t_3	$^{\circ}\text{C}$	
Относительная влажность атмосферного воздуха		%	Допускается принимать по данным ближайшей метеостанции
Температура продуктов сгорания перед ТВД (средняя)	t_1	$^{\circ}\text{C}$	агрегаты типа ГТ-700-5, ГТК-5, ГТ-750-6, ГТК-10, ГТНР-10
Температура продуктов сгорания за ТВД, перед СТ	t_1'	$^{\circ}\text{C}$	агрегаты типа Центавр, ГПА-Ц-6,3, ГПА-Ц-8, ГПА-Ц-16, ГПУ-10, ГПУ-16, Коберра-182
Температура выхлопных газов за ТНД (средняя)	t_2	$^{\circ}\text{C}$	агрегаты типа ГТ-6-750, ГТН-6, ГТК-10, ГТН-16, ГТН-25, ГТН-10И, ГТН-25И
Частота вращения компрессора высокого давления	$n_{ВД}$	об/мин	
Частота вращения компрессора низкого давления	$n_{НД}$	об/мин	
Частота вращения силовой турбины	$n_{СТ}$	об/мин	

1	2	3	4
Абсолютное давление воздуха за компрессором высокого давления	P_4	кг/см ²	На агрегатах типа ГТУ-10 дополнительно установить отбор давления (техническая возможность имеется). На остальных типах ГПА используется штатный узел отбора давления
Объемные доли или процентное содержание компонентов и загрязняющих веществ:			
Оксид азота	NO	ppm	
Диоксид азота	NO ₂	ppm	
Оксид углерода	CO	ppm	
Кислород	O ₂	%	
Диоксид углерода	CO ₂	%	

4. Обработка результатов измерений

4.1. Основная единица измерения концентрации загрязняющего вещества принимается мг/нм³ (м³ при 0°C и 1,033 кг/см²).

4.2. Соотношения с другими единицами:

- оксид азота (NO) в пересчете на диоксид (NO₂) 1 ppm (объемные доли на миллион) = $1 \cdot 10^{-4} \% = 2,054 \text{ мг/нм}^3$;
- оксид углерода (CO) $1 \text{ ppm} = 1 \cdot 10^{-4} \% = 1,25 \text{ мг/нм}^3$.

Концентрация оксидов азота NO_x определяется, как сумма оксида NO (в пересчете на диоксид NO₂) и диоксида NO₂ в выхлопных продуктах сгорания.

4.3. Параметры выбросов ВВ с отработавшими продуктами сгорания и основные теплотехнические параметры ГПА для номинального режима изложены в "Каталоге удельных выбросов загрязняющих веществ газотурбинных газоперекачивающих агрегатов". ВНИИГАЗ, 1991. Показатели ГПА, используемые в расчетах, приведены в табл.4.1.

4.4. Для каждого режима испытаний результаты измерений концентраций загрязняющих веществ приводятся к основной единице измерений (мг/нм³) по соотношениям п.п.4.1, 4.2. При двухпоточной выхлопной системе (агрегаты типа ГТ-700-5, ГТК-5, ГТ-750-6,

ГТК-10) результаты измерений в двух газоходах предварительно осредняются.

4.5. Определяется коэффициент соотношения сухих и влажных продуктов сгорания

$$K_B = \frac{89,5}{110,5 - O_2},$$

где O_2 - концентрация кислорода в пробе, %.

4.6. Определяется расход сухих продуктов сгорания на срезе выхлопной шахты (трубы):

- для всех типов ГПА, кроме ГТН-10И и ГТН-25И

$$Q_2 = Q_2^0 \left(\frac{P_4}{P_{40}} \right)^{0,8} \cdot \left(\frac{288}{T_3} \right)^{0,5} \cdot \frac{B}{1,033} K_B, \text{ нм}^3/\text{с};$$

- для агрегата ГТН-10И и ГТН-25И

$$Q_2 = Q_2^0 \cdot \eta_{\text{ТВД}} \cdot \frac{288}{T_3} \cdot \frac{B}{1,033} \cdot K_B \cdot 0,97, \text{ нм}^3/\text{с},$$

где Q_2^0 (нм³/с) и P_{40} (ата) - соответственно расход продуктов сгорания и абсолютное давление за осевым компрессором на номинальном режиме (табл.4.1); T_3 - температура перед компрессором на режиме испытаний, К; B - барометрическое давление, ата; P_4 - абсолютное давление за компрессором, ата; $\eta_{\text{ТВД}}$ - относительные обороты осевого компрессора; 0,97 - поправка на техническое состояние ГТУ.

4.7. Определяется мощность выброса загрязняющих веществ

$$M_i = C_i \cdot Q_2, \text{ г/с}.$$

4.8. Определяется относительное массовое содержание оксида азота

$$\overline{NO} = \frac{NO \cdot 2,054}{NO_x};$$

$\overline{NO}$ - в сумме оксидов азота NO_x должно (с учетом погрешностей измерений) находиться в следующих пределах: а) для регенеративных ГТУ - $0,9 \pm 0,05$; б) для безрегенеративных ГТУ - $0,95 \pm 0,05$.

4.9. По результатам измерений на нескольких режимах строятся графические зависимости концентрации оксидов азота и углерода от температуры продуктов сгорания в точке ее штатного измерения.

4.10. По графику $C_{NO_x} = f(t)$ определяется значение C_{NO_x} , соответствующее номинальным значениям штатной температуры в

табл. 4.1, и полученное значение концентрации принимается за номинал для данного ГПА вплоть до очередных контрольных испытаний.

По графику $C_{CO} = f(t)$ определяется среднее арифметическое значение C_{CO} (по трем точкам при максимальном, минимальном и среднем значениях температуры в измеренном диапазоне), принимаемое за номинал для данного ГПА вплоть до очередных контрольных испытаний.

4.11. Полученные номинальные значения сравниваются с данными табл. 4.1 и рассчитывается поправочный коэффициент $K_i = \frac{C_i}{C_{i0}}$.

Если отклонение K_i от данных табл. 4.1 превышает $\pm 10\%$, то при проведении расчетов по временной инструкции по учету валовых выбросов оксидов азота и углерода на газотурбинных компрессорных станциях вносится соответствующая корректировка для данного ГПА (или усредненно для цеха).

4.12. В качестве примера в табл. 4.2 и на рис. 4.1 приведены результаты испытаний агрегата типа ГТК-10.

Результаты испытаний показывают, что у обследованного агрегата номинальные значения концентраций оксидов азота и углерода составляют соответственно 380 мг/м^3 и 20 мг/м^3 .

Сравнивая эти значения с данными табл. 4.1, получаем:

$$K_{NOx} = \frac{380}{350} = 1,086; \quad K_{CO} = \frac{20}{40} = 0,5,$$

т.е. концентрация оксидов азота на $8,6\%$ выше, а оксида углерода – в 2 раза ниже номинальной (среднестатистической) величины.

Таким образом, при проведении расчетов выбросов ВВ испытанным агрегатом, номинальное значение концентрации оксидов азота допускается принимать по данным табл. 4.1, а на концентрацию оксида углерода внести соответствующую корректировку.

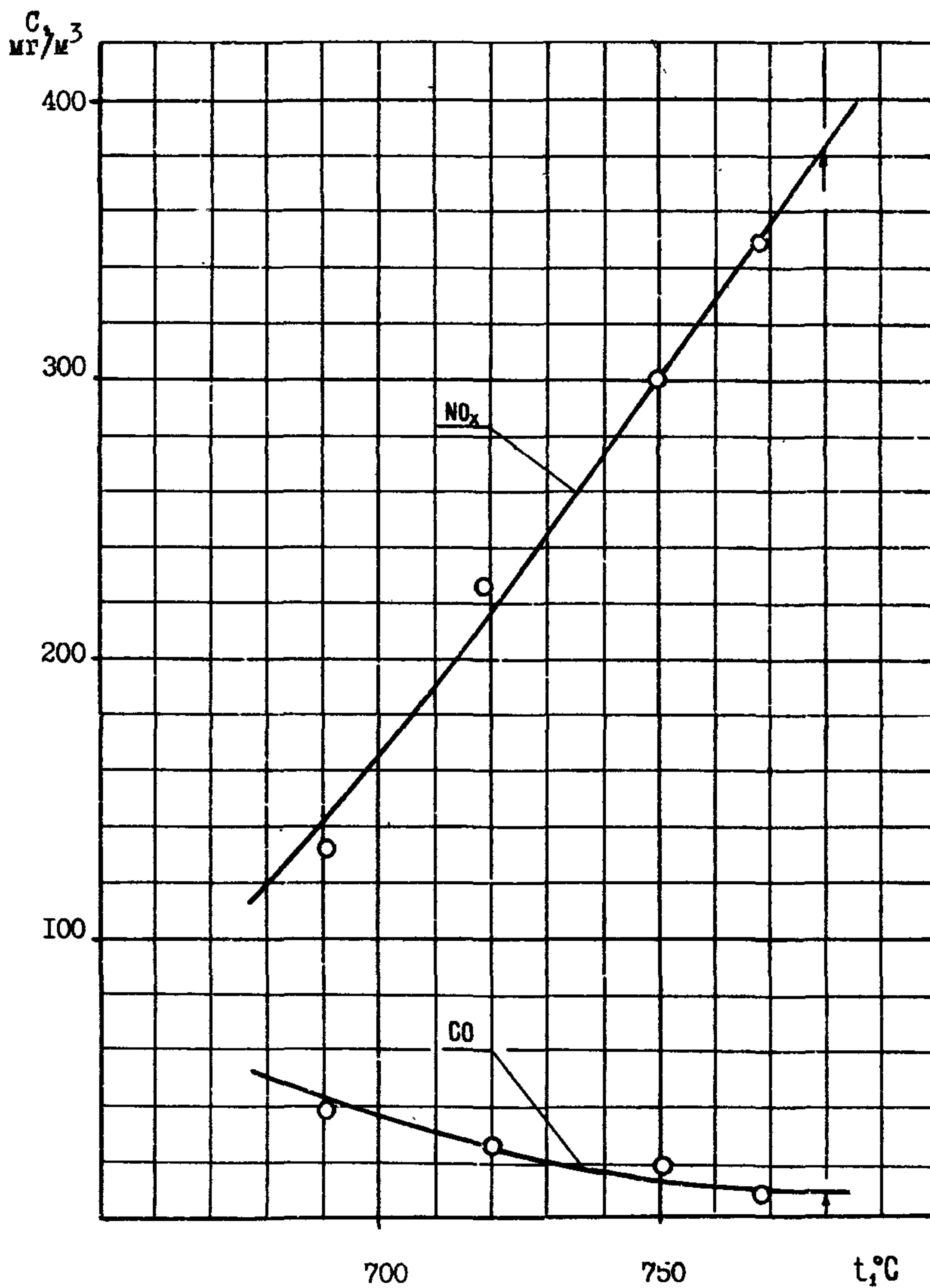


Рис. 4.1. Содержание оксидов азота и оксида углерода в выхлопных газах агрегата типа ГТК-10

Номинальные значения показателей ГПА

Тип ГПА	Абсолют- ное дав- ление за компрес- сором вы- сокого давления, P_4 кг/см ²	Расход продуктов сгорания на срезе выхлопной трубы, Q_2 м ³ /с	Температура		на сре- зе ды- мовой трубы, °C	Концентрация загрязняющих веществ		Мощность выброса	
			по тракту ГТУ			Оксидов азота, NO_x , мг/м ³	Оксида углерода, CO, мг/м ³	Оксидов азота, M_{NO_x} , г/с	Оксида углерода MSO , г/с
			штатная точка измере- ния	значе- ние, °C					
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Центавр	8,9	12,9	перед СТ	610	410	135	50	1,66	0,62
ГТ-700-5	4,0	35,4	перед ТВД	700	283	200	150	7,59	5,31
ГТК-5	4,0	35,4	перед ТВД	700	283	200	150	7,59	5,31
ГТ-750-6	4,7	45,6	перед ТВД	750	302	350	60	15,50	2,66
ГТ-6-750	5,8	37,1	после ТНД	415	415	100	150	3,57	5,35
ГТН-6	5,8	37,1	после ТНД	415	415	100	150	3,57	5,35
ГПА-Ц-6,3	9,1	47,1	перед СТ	480	317	70	150	3,04	6,52
ГПА-Ц-8	9,2	47,7	перед СТ	540	340	110	150	4,83	6,58
ГПУ-10	10,3	68,1	после ТВД	560	330	70	30	4,30	1,84
ГТК-10	4,5	66,5	перед ТВД	780	290	350	40	22,60	2,58
ГТК-10	4,5	66,5	после ТНД (СТ)	520	290	350	40	22,60	2,58
ГТН-10И	7,2	40,6	после ТНД (СТ)	533	533	200	50	7,68	1,92

Продолжение табл. 4.1

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Коберра-182	9,2	60,7	перед СТ	625	411	135	140	7,82	8,11
ГТН-16	11,7	67,4	после ТНД (СТ)	408	408	180	200	11,60	12,90.
ГПА-Ц-16	9,9	80,5	перед СТ	550	412	100	400	7,73	30,90
ГПУ-16	13,0	76,2	после ТВД	640	358	100	50	7,30	3,66
ГТН-25	11,4	117,3	после СТ	465	465	120	350	13,40	39,20
ГТН-25И	8,4	92,5	после ТНД (СТ)	491	491	145	30	12,70	2,63

Р е з у л ь т а т ы
испытаний газотурбинного агрегата ГТК-10-4 ст. 24 зав. №189 на КС Опорная
22-23 февраля 1991 г.

Наименование параметра	Обозн. Разм.		Формула или источник	Р е ж и м ы			
				1	2	3	4
I	2	3	4	5	6	7	8
1 Барометрическое давление	B	ата	замер	1,057		1,063	
2 Температура на входе ОК	t_3	°C	—"	2,6	-5,1	-4,6	-3,1
3 Относительная влажность		%	—"	53	62	67	71
4 Частота вращения ТВД	n ТВД	об/мин	—"	4565	4710	4790	4850
5 Частота вращения ТНД	n ТНД	об/мин	—"	—	—	—	—
6 Средняя тем-ра перед ТВД	t_1	°C	—"	691	719	750	768
7 Абсолютное давление за ОК	P ₄	ата	замер+В	3,793	4,139	4,357	4,435
8 Концентрация: (в сухих продуктах сгор.)							
Оксида лев.газоход	NO _л	ppm	замер	58	105	139	166
азота пр. газоход	NO _п	ppm	—"	57	89	127	159
Диокси- лев.газоход	NO _{2л}	ppm	—"	7	15	14	19
да азо- пр. газоход	NO _{2п}	ppm	—"	6	12	13	15

Продолжение табл. 4.2

I		2	3	4	5	6	7	8
Оксида	лев. газоход	CO_L	ppm	замер	28	17	12	7
углерода	пр. газоход	CO_{II}	ppm	—	30	23	18	6
Кислорода	лев. газоход	O_{2L}	%	—	18,5	18,2	17,9	17,7
	пр. газоход	O_{2II}	%	—	18,5	18,2	18,1	17,8
Диоксида углерода	лев. газоход	CO_{2L}	%	—	1,4	1,6	1,8	1,9
	пр. газоход	CO_{2II}	%	—	1,4	1,6	1,7	1,8
Оксидов азота (средняя)		$NO_{x\text{ ср}}$	мг/м ³	$(NO_L + NO_{2L} + NO_{II} + NO_{2II}) \cdot 0,5 \cdot 2,05$	131	226	300	368
Оксида углерода (средняя)		$CO_{\text{ср}}$	мг/м ³	$(CO_L + CO_{II}) \cdot 0,5 \cdot 1,25$	37	25	18	8
9 Относительная концентрация оксида азота		$\bar{NO}$	—	$(NO_L + NO_{II}) \cdot 0,5 \cdot 2,05 / NO_x$	0,90	0,88	0,91	0,91
10 Поправочный коэффициент		K_B	—	$89,5 / (110,5 - O_{2\text{ср}})$	0,973	0,970	0,967	0,965
11 Расход сухих продуктов сгорания		Q_2	м ³ /с	$66,5 \cdot (P_4/4,4) \cdot K_B \cdot 57,50 \cdot (288/T_3) \cdot (B/1,033)$	57,50	63,01	64,77	67,54
12 Мощность выбр. окс. азота		M_{NO_x}	г/с	$NO_{x\text{ ср}} \cdot Q_2$	7,53	14,24	19,43	24,82
13 Мощность выбр. окс. углерода		M_{CO}	г/с	$CO_{\text{ср}} \cdot Q_2$	2,13	1,57	1,16	0,54

Содержание	Стр.
I. Общие положения	3
2. Подготовка турбоагрегата к испытаниям	3
3. Объем и условия проведения измерений, измеряемые параметры	6
4. Обработка результатов измерений	8

Заказ II8. Тираж 200 экз.

Объем: 0,66 уч.-изд.л. Ф-т 60x84/16

Отпечатано на ротапринте ВНИИГАЗа