ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «ГАЗПРОМ»

Общество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий-ВНИИГАЗ»

Общество с ограниченной ответственностью «Информационно-рекламный центр газовой промышленности»

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ

ДОКУМЕНТЫ НОРМАТИВНЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ ОАО «ГАЗПРОМ»

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

СТО ГАЗПРОМ 2-3.5-038-2005

Дата введения - 2005-12-15



г. Челябинск

ПРЕДИСЛОВИЕ

- 1 РАЗРАБОТАН Обществом с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий ВНИИГАЗ»
- 2 ВНЕСЕН Департаментом по транспортировке, подземному хранению и использованию газа OAO «Газпром»
- 3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Распоряжением ОАО «Газпром» от 30 августа 2005 г. № 205
- 4 ВВОДИТСЯ ВЗАМЕН РД 51-164-92 «Временная инструкция по проведению контрольных измерений вредных выбросов газотурбинных установок на компрессорных станциях»

ВВЕДЕНИЕ

Инструкция является переработанным и дополненным изданием РД 51-164-92 «Временная инструкция по проведению контрольных измерений вредных выбросов газотурбинных установок на компрессорных станциях» с учетом:

- многолетнего опыта использования РД 51-164-92;
- требований ГОСТ Р ИСО 11042-1-2001. Установки газотурбинные.

Методы определения выбросов вредных веществ;

- современной номенклатуры газотурбинных газоперекачивающих агрегатов.

Стандарт разработан авторским коллективом ООО «ВНИИГАЗ» в составе:

к.т.н. В.А. Щуровский, к.т.н. Ю.Н. Синицын, А.В. Черемин, В.И. Корнеев, Г.С. Степанова (лаборатория газотурбинной техники и технологии);

к.т.н. Г.С. Акопова, Л.В. Шарихина, Н.Ю. Круглова (лаборатория защиты окружающей среды).

1 ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Настоящий стандарт предназначен для определения показателей выброса вредных (загрязняющих) веществ, содержащихся в отработавших (выхлопных) газах газотурбинных установок (ГТУ), и оценки их соответствия требованиям нормативных документов.

Стандарт предназначен для организации и проведения периодических экологических испытаний газотурбинных установок на объектах дочерних обществ и организаций ОАО «Газпром». Стандарт рекомендуется использовать при проведении приемочных испытаний новых типов газотурбинных установок, а также оценки эффективности модернизаций газотурбинных установок в целях снижения выбросов загрязняющих веществ.

Примечание - Технические условия (ТУ) по перечню ГПА и ГТУ (двигателей) данного СТО находятся в ООО «ВНИИГАЗ».

2 НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящем документе использованы ссылки на следующие стандарты:

<u>ГОСТ 5542-87</u> Газы горючие природные для промышленного и коммунально-бытового хозяйства. Технические условия.

<u>ГОСТ 28775-90</u> Агрегаты газоперекачивающие с газотурбинным приводом. Общие технические условия.

ГОСТ Р ИСО 11042-1-2001 Установки газотурбинные. Методы определения выбросов вредных веществ.

<u>СТО ГАЗПРОМ-2005</u> Каталог удельных выбросов вредных веществ газотурбинных газоперекачивающих агрегатов.

Примечание - При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов и по соответствующим указателям, составленным на 1 января текущего года, и информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный документ заменен (изменен), то при пользовании настоящим стандартом следует руководствоваться замененным (измененным) документом. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 ТЕРМИНЫ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями, условные обозначения основных расчетных параметров и сокращения.

3.1 Термины и определения

- 3.1.1 концентрация C_i мг/м³: Масса компонента i, содержащаяся в 1 м³ сухого отработавшего газа при 0 °С и 0,1013 МПа (ГОСТ Р ИСО 11042-1).
- 3.1.2 приведенная концентрация i, мг/м³: Приведенная к 15 % содержания кислорода (по объему) масса компонента i, содержащаяся в 1 м³ сухого отработавшего газа при 0 °C и 0,1013 МПа и вычисляемая по формуле

$$C_i^{15} = C_i \cdot \frac{20,95 - 15}{20,95 - O_2},\tag{3.1}$$

где ${\rm O_2}$ - объемная концентрация кислорода в осушенном отработавшем газе, %.

3.1.3 мощность выброса M_i , г/с: Массовое количество выброса компонента i с отработавшими газами в единицу времени, вычисляемое по формуле

$$M_i = C_i \cdot Q_2 \cdot 10^{-3}, \tag{3.2}$$

где Q_2 - объемный расход сухих отработавших газов газотурбинной установки при 0 °C и 0,1013 МПа, м³/с

3.1.4 параметры номинального режима газотурбинных газоперекачивающих агрегатов: Параметры при номинальной мощности по ТУ и стандартных станционных условиях: температуре воздуха на входе в двигатель +15 °C, барометрическом давлении 0,1013 МПа, относительной влажности 60 %, с учетом гидравлических сопротивлений входного и выходного трактов, без

технологических отборов воздуха, при отсутствии утилизационного теплообменника (Γ OCT <u>28775</u>).

Примечания:

- 1. Параметры номинального режима газотурбинных газоперекачивающих агрегатов приведены в таблице А.1 (Приложение А), СТО ГАЗПРОМ, 2005.
- 2. Для других типоразмеров газотурбинных установок, а также при их модернизации параметры номинального режима определяются технической документацией (техническим заданием, техническими условиями, техническими спецификациями и др.), утвержденной в установленном порядке.

3.2 Сокращения

В(3)В - вредное (загрязняющее) вещество;

ГПА - газоперекачивающий агрегат;

ГТУ - газотурбинная установка;

КПД - коэффициент полезного действия;

КС - камера сгорания;

НД - нормативный документ

СТ - силовая турбина;

ТВД - турбина высокого давления.

4 ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- 4.1 Стандарт разработан применительно к использованию переносных газоанализаторов типа «Testo», «IMR», «ДАГ» [1] и других газоанализаторов, а также при использовании методов анализа проб продуктов сгорания, обеспечивающих требования ГОСТ Р ИСО 11042-1.
- $4.2~\mathrm{B}$ качестве топливного газа ГТУ используют природный газ, перекачиваемый по газопроводам и подаваемый потребителям по <u>ГОСТ 5542</u>, который 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 B(3)B.
- 4.3 Камеры сгорания современных ГТУ (КПД 98,5-99,5 %) обеспечивают высокий уровень полноты сгорания топлива. Поэтому содержание несгоревших углеводородов (в частности, метана), как правило, находится в пределах точности средств измерения. Концентрацию несгоревших углеводородов в отработавших газах определяют по ПНД Ф 13.1:2.26-99 [2] либо по другой методике количественного химического анализа, утвержденной в установленном порядке.
- 4.4 Основными компонентами продуктов сгорания для контроля являются оксиды азота и оксид углерода.

Концентрацию оксидов азота NO_x определяют как сумму оксида азота NO_2 в пересчете на NO_2 (ГОСТ Р ИСО 11042-1).

Допускается принимать содержание диоксида азота NO_2 в сумме оксидов азота NO_x в отработавших газах на срезе выхлопной трубы (шахты) 10% для регенеративных ГТУ и 5% для безрегенеративных ГТУ.

- 4.5 Номинальные значения концентраций и мощности выбросов оксидов азота NO_x близки (в пределах 5 %) к максимальным значениям этих параметров на всех возможных эксплуатационных режимах.
- 4.6 Номинальные значения концентрации и мощности выброса оксида углерода установлены таким образом, чтобы они были близки к максимальным значениям этих параметров в диапазоне эксплуатационных нагрузок от 70 до 100 %.

5 ОРГАНИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

- 5.1 Подготовку мест для отбора проб отработавших газов производят на остановленном газоперекачивающем агрегате.
- 5.2 Отбор проб продуктов сгорания производят через отверстия диаметром 12 мм в выхлопной трубе (шахте) ГТУ.
 - 5.3 Сечение отбора проб должно удовлетворять следующим требованиям ГОСТ Р ИСО 11042-1:
- представительность отбора проб (как правило, обеспечивают измерением поля концентраций для данного типа ГТУ);

- удобство и безопасность проведения отбора проб;
- отсутствие эжекции воздуха в отработавших газах.

Эксплуатируемый парк ГТУ в основном оснащен местами отбора

отработавших газов в соответствии с РД 51-164-92 [3]. Новые агрегаты поставляются со штатным местом отбора проб отработавших газов. Представительная точка отбора, как правило, соответствует глубине размещения зонда от 300 до 500 мм.

- 5.4 Не допускается отбор проб в сечении выброса отработавшего газа в атмосферу, так как при этом возможно подмешивание к пробе атмосферного воздуха (ГОСТ Р ИСО 11042-1).
- 5.5 Допускается отбор проб в сечениях до или после регенераторов (рекуператоров) и (или) котлов-утилизаторов при их наличии в составе ГТУ.
- 5.6 При двухпоточной выхлопной системе (агрегаты типа ГТ-700-5, ГТК-5, ГТ-750-6, ГТК-10, ГТНР-16, ГТК-25ИР, ГТНР-25И) измерения проводятся в каждом выхлопном газоходе, а результаты измерений осредняются.
- 5.7 Используемый газоанализатор должен иметь действующее свидетельство о поверке и документ, подтверждающий его соответствие требованиям безопасности.

6 ОБЪЕМ И УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ; ИЗМЕРЯЕМЫЕ ПАРАМЕТРЫ

- 6.1 Для оценки соответствия данных содержания B(3)В сухого отработавшего газа нормативным данным должна быть обеспечена возможность работы ГТУ (нагрузка) на рабочих режимах в пределах ограничений, предусмотренных инструкцией по эксплуатации или по условиям работы газопровода.
 - 6.2 В отработавших газах ГТУ проводят измерения концентраций:
 - оксидов азота NO_x (включая определение соотношения оксида азота и диоксида);
 - оксида углерода СО;
 - кислорода О₂;
 - диоксида углерода СО₂.

Одновременно на режимах испытаний проводят регистрацию основных теплотехнических параметров ГТУ.

Типовой перечень измеряемых параметров приведен в таблице Б.1 (Приложение Б).

- 6.3 Измерения концентраций B(3)В в отработавших газах осуществляют согласно инструкции по эксплуатации используемого газоанализатора.
- 6.4 Измерения параметров, как правило, проводят на нескольких режимах (не менее трех) в диапазоне нагрузок от 70 % до максимальной, определяемой условиями испытаний.

Для оценки текущих параметров выброса В(3)В измерения проводят на штатном эксплуатационном режиме.

- 6.5 Допускается проведение экстраполяции полученных результатов до номинального режима (испытания при отрицательных температурах и/или незначительном изменении загрузки) с помощью типовой экологической характеристики агрегата.
- 6.6 Измерения проводят на установившихся режимах, т.е. когда отклонения основных параметров (температуры отработавшего газа и воздуха, частоты вращения) не превышают 1 %, концентрации NO, NO₂, CO не превышают ± 2 ppm, O₂, CO₂ не превышают ± 0.1 %.
- 6.7 При незначительных отклонениях измеренных концентраций B(3)В от средних значений замеры на одном режиме повторяют не менее трех раз, принимая для дальнейших расчетов их среднеарифметическую величину. В противном случае число необходимых замеров увеличивают (в соответствии с правилами статистической обработки результатов) и случайно выпавшие значения отбрасывают.

7 ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

- 7.1 Для каждого режима испытаний результаты измерений концентраций B(3)B приводят к основной единице измерений $M\Gamma/M^3$ по соотношениям:
 - диоксид азота NO_2 : 1 ppm (объемные доли на миллион) = $1 \cdot 10^{-4}$ % = 2,053 мг/м³:
 - оксид азота NO: 1 ppm = $1 \cdot 10^{-4}$ % = 1,339 мг/м³;
 - оксид углерода CO: 1 ppm = $1 \cdot 10^{-4}$ % = 1,250 мг/м³.

7.3 Определяют мощность выбросов В(3)В.

7.3.1 Вычисляют коэффициент соотношения сухих и влажных продуктов сгорания

$$K_e = \frac{89.5}{110.5 - O_2},\tag{7.1}$$

где О₂ - измеренная концентрация кислорода в пробе, %.

7.3.2 Вычисляют расход сухих отработавших газов на срезе выхлопной шахты (трубы) Q_2 , м³/с:

- для всех типов ГТУ с нерегулируемой силовой турбиной

$$Q_{2} = Q_{2}^{0} \left(\frac{P_{4}}{P_{4}^{0}} \right)^{0.8} \cdot \left(\frac{288}{T_{3}} \right)^{0.5} \cdot \frac{P_{\alpha}}{0,1013} \cdot K_{e}; \tag{7.2}$$

- для ГТУ с регулируемой силовой турбиной (ГТК-10И, ГТК-10ИР, РGТ-10, ГТК-25И, ГТК-25ИР, ГТНР-25И (В), ГТНР-25И (С))

$$Q_2 = 0.97 \cdot Q_2^0 \cdot \overline{n}_{TBJ} \cdot \frac{288}{T_3} \cdot \frac{P_{\alpha}}{0.1013} \cdot K_e; \tag{7.3}$$

где \bigcirc^0_2 (м³/с) и \bigcirc^{-0}_4 (МПа) - соответственно, расход отработавших газов и абсолютное давление за осевым компрессором ГТУ на номинальном режиме;

 T_3 - температура перед компрессором ГТУ на режиме испытаний, K;

 P_{α} - барометрическое давление, МПа;

 P_4 - абсолютное давление за компрессором ГТУ, МПа;

 $K_{\rm B}$ - коэффициент соотношения объемных расходов сухого и влажного отработавшего газа;

⁷⁷ - относительная частота вращения осевого компрессора ГТУ (отношение фактической частоты вращения компрессора к ее номинальной величине);

0,97 - поправка на техническое состояние ГТУ.

Погрешность определения расхода отработавших газов по формулам (7.2), (7.3) составляет $\pm (4 \div 6)\%$.

- 7.3.3 Вычисляют мощность выброса оксидов азота и оксида углерода согласно формуле (3.2).
- 7.4 Производят оценку соответствия показателей выбросов требованиям НД.
- 7.4.1 Строят графические зависимости концентраций оксидов азота ($^{C}_{NO}$, и $^{C}_{NO}$) и оксида углерода ($^{C}_{CO}$) от температуры отработавших газов, используемой в качестве штатного измерения.

Примечание - При необходимости проводят экстраполяцию графиков до температуры, соответствующей номинальной температуре отработавших газов для данного типа ГТУ. Значения номинальных температур отработавших газов $\frac{70}{2}$ отработавших газов $\frac{7}{2}$ по типам агрегатов приведены в таблице A.1 (Приложение A).

7.4.2 По графикам $C_{NO_{A}} = f\left(T_{\text{MM}}\right)$ по величине номинальной температуры отработавших газов T_{MM}^{0} , вычисляют физическую $C_{NO_{A}}^{0}$ и приведенную $C_{NO_{A}}^{15}$ концентрацию оксидов азота на номинальном режиме.

По графику $C_{00} = f(T_{\text{мм}})$ определяют среднее арифметическое значение концентраций C_{000} и C_{000}^{15} (по трем точкам при максимальном, минимальном и среднем значениях температур отработавших газов в измеренном диапазоне).

7.4.3 Определяется соответствие приведенных концентраций $C_{NO_A}^{15}$ и C_{CO}^{15} (по <u>7.3.2</u>) на номинальном режиме нормативным данным, %, по формуле

$$K_i = \left(\frac{C_{i_0}^{15}}{C_i^{15^0}} - 1\right) \cdot 100,\tag{7.4}$$

где $C_{i_0}^{15}$ - приведенная фактическая концентрация на номинальном режиме;

і - приведенная номинальная концентрация в соответствии с нормативной документацией данного типа ГТУ (принимается по таблице A.1).

Если K_i не превышает ± 10 %, то концентрация компонента i-го вредного вещества агрегата соответствует нормам НД и принимается за номинал для данной ГТУ впредь до очередных контрольных испытаний.

Если K_i превышает ± 10 %, то при проведении вычислений согласно действующим инструкциям по учету валовых выбросов B(3)В вносят соответствующую корректировку для данного ГПА (или усредненно для цеха).

7.5 Алгоритм и пример обработки измеренных параметров приведены в <u>таблице В.1</u> и на рисунках <u>В.1</u> и <u>В.2</u> (Приложение В) по результатам испытаний агрегата ГПА-Ц-18 на четырех режимах (первый режим в данном случае является текущим штатным режимом).

ПРИЛОЖЕНИЕ А (СПРАВОЧНОЕ)

Таблица А.1 - Номинальные значения показателей ГПА

| | Абсолютно е давление | | | ература по Приведенная концентрац ГТУ Тиж В(3)В | | | Мощнос | | |
|-------------------------------|---|---|-----------------------------------|---|---|--|---|--|---|
| Тип ГПА (тип двигателя) | Гип ГПА компрессор (тип ом высокого давления том давления давлени | газов на срезе выхлопн ой трубы C_2^0 , m^3/C | штатная точка измерен ия | значение К | оксидов азота С <i>NO</i> _A , мг/м ³ | оксида углерода С ¹⁵ 0 мг/м ³ | оксидов азота $M_{NO_{x_1}}^0$ г/с | оксида углерода $M^0_{{ m CO},\ { m r/c}}$ | Концент рация кислоро да О ₂ , % |
| «Центавр Т-3002» | 0,87 | 12,9 | Перед СТ | 883 | 195 | 70 | 1,67 | 0,60 | 16,8 |
| «Центавр Т-4500» | 0,99 | 14,3 | Перед СТ | 948 | 150 | 70 | 1,45 | 0,68 | 16,7 |
| «Центавр Т-4700» | 1,01 | 14,5 | Перед СТ | 949 | 90 | 70 | 0,91 | 0,71 | 16,6 |
| «Taypyc-60 S» | 1,21 | 17,0 | После СТ | 761 | 50 | 30 | 0,69 | 0,41 | 15,9 |
| ГПА-4РМ | 1,21 | 17,2 | Перед СТ | 860 | 130 | 130 | 1,35 | 1,35 | 17,2 |
| ГТ-700-5 | 0,39 | 35,4 | Перед ТВД | 973 | 490 | 180 | 6,93 | 2,55 | 18,5 |
| ГТК-5 | 0,39 | 35,4 | Перед ТВД | 973 | 490 | 180 | 6,90 | 2,53 | 18,6 |
| ГТ-750-6 | 0,46 | 45,7 | Перед ТВД | 1023 | 180 | 110 | 3,33 | 2,03 | 18,5 |

| ГТ-750-6М («Дон» 1-3) | 0,46 | 45,6 | Перед ТВД | 1023 | 290 | 90 | 4,83 | 1,50 | 18,8 |
|--|------|------|-----------------------------|-------------|--------|--------|----------|----------|------|
| ГТ-6-750 | 0,57 | 37,1 | После СТ | 688 | 135 | 100 | 2,81 | 2,08 | 17,5 |
| ГТН-6 | 0,57 | 37,1 | После СТ | 688 | 150 | 245 | 3,28 | 5,35 | 17,3 |
| ГТН-6У | 1,21 | 25,4 | После СТ | 683 | 150 | 150 | 2,58 | 2,58 | 16,8 |
| ГПА-Ц-6,3 (НК-12СТ) | 0,89 | 46,7 | Перед СТ | 753 | 140 | 300 | 3,06 | 6,55 | 18,0 |
| ГПА-Ц-6,3 А (Д-336) | 1,60 | 25,3 | Перед СТ | 883 | 150 | 300 | 2,62 | 5,24 | 16,7 |
| ГПА-Ц-6,3 С (ДТ-71) | 1,34 | 23,6 | Перед СТ | 917 | 150 | 300 | 2,58 | 5,16 | 16,4 |
| ГПА-Ц-6,3Б (НК-14СТ) | 0,97 | 28,2 | Перед СТ | 913 | 150 | 300 | 2,71 | 5,42 | 16,8 |
| ГПА-Ц-8Б (НК-14СТ) | 1,06 | 29,1 | Перед СТ | 988 | 150 | 300 | 3,33 | 6,66 | 16,2 |
| ГПА-Ц-10Б (НК-14СТ-1 0) | 1,06 | 29,2 | Перед СТ | 780 | 150 | 300 | 3,78 | 7,56 | 15,5 |
| ГТК-10, ГТК-10М ¹⁾ | 0,44 | 66,5 | ПередТ ВД После СТ | 1053 813 | 180/60 | 60/180 | 5,16/1,7 | 1,72/5,1 | 18,3 |
| ГПУ-10(ДР- 59) | 1,01 | 67,6 | После ТВД | 833 | 145 | 60 | 4,37 | 1,81 | 18,1 |
| ГТК-10И(М S-3002) | 0,71 | 40,6 | После СТ | 806 | 230 | 60 | 7,61 | 1,91 | 15,8 |
| ГТК-10ИР(MS-3002) | 0,73 | 40,7 | После СТ | 816 | 230 | 150 | 5,51 | 3,59 | 17,3 |
| PGT-10 | 1,40 | 33,2 | После СТ | 745 | 150 | 100 | 3,97 | 2,64 | 16,0 |
| ГПА-10«Ур ал», ГПА-10ПХ Г «Урал»(ПС- 90ГП-3) | 1,44 | 34,4 | Перед СТ | 953 | 100 | 100 | 2,65 | 2,65 | 16,1 |
| ГПА-12«Ур ал», ГПА-12Р «Урал», ГПА-Ц-12Р «Урал» (ПС-90ГП-1 | 1,55 | 36,8 | Перед СТ | 1010 | 150 | 100 | 4,40 | 2,94 | 16,0 |

| «Коберра» 182 («Эйвон») | 0,90 | 60,7 | Перед СТ | 898 | 200 | 210 | 7,81 | 8,20 | 17,0 |
|--|------|------|--------------|------|---------|---------|-----------|-------------|------|
| ГТН-16 | 1,15 | 67,4 | После СТ | 681 | 250 | 280 | 11,80 | 12,85 | 16,7 |
| ГТН-16М-1 | 1,16 | 66,4 | После СТ | 693 | 150 | 300 | 6,44 | 12,88 | 16,9 |
| ГПУ-16, ГПА-16-М Ж (ДЖ-59) | 1,27 | 76,2 | Перед СТ | 913 | 150 | 80 | 6,66 | 3,55 | 17,4 |
| ГПА-Ц-16(НК-16СТ) | 0,98 | 80,5 | Перед СТ | 823 | 150 | 300 | 7,26 | 14,52 | 17,2 |
| «Коберра - 16МГ» ГПА-16МГ(ДГ-90) | 1,90 | 54,8 | После ТВД | 893 | 150 | 300 | 5,87 | 11,75 | 16,5 |
| ГПА-Ц-16С , ГПА-16ДГ «Урал» ²¹ (Д Г-90) | 1,90 | 54,8 | После ТВД | 893 | 150/80 | 300/150 | 5,87/3,13 | 11,75/5,87 | 16,5 |
| ГПА-16«Ур ал», ГПА-16Р «Урал», ГПА-Ц-16Р «Урал», ГПУ-16Р «Урал» (ПС-90ГП-2 | 2,01 | 47,3 | После СТ | 782 | 150 | 100 | 5,50 | 3,67 | 16,1 |
| ГПА-Ц-16Н К38, ГПА-16 «Волга» (НК-38СТ) | 2,60 | 42,8 | Перед СТ | 1033 | 150 | 150 | 5,47 | 5,47 | 15,6 |
| ГПА-Ц-16А Л ГПА-16Р«У фа» PGT-21S, ГПА-16«Не ва», ГПА-16АЛ «Урал» ²⁾ (АЛ-31СТ) | 1,76 | 51,2 | Перед СТ | 1043 | 150/110 | 300/300 | 5,62/4,12 | 11,25/11,25 | 16,4 |
| ГТНР-16 | 0,71 | 72,2 | После СТ | 823 | 80 | 100 | 3,29 | 4,17 | 17,4 |
| ГПА-Ц-18, ГПА-18НК «Урал» (НК-16-18С Т) | 0,95 | 79,1 | Перед СТ | 863 | 140 | 100 | 7,13 | 5,09 | 17,0 |

| ГТН-25-1 | 1,30 | 80,2 | После СТ | 773 | 400 | 500 | 26,65 | 33,31 | 15,7 |
|--|------|-----------|-------------|------|--------|---------|------------|-------------|----------|
| ГТН-25 | 1,12 | 117,4 | После СТ | 701 | 180 | 480 | 14,66 | 39,08 | 16,6 |
| ГПА-25/76- ДН80Л, ГПА-25ДН «Урал» ⁴⁾ (Д Н-80) | 2,18 | 68,1/68,3 | Перед СТ | 1033 | 150/80 | 300/150 | 9,04/4,7 5 | 18,09/8, 91 | 15,4/15, |
| ГПА-Ц-25, ГПА-25 НК, ГПА-«Нева 25»(НК-36С Т) | 2,31 | 79,2 | Перед СТ | 973 | 150 | 300 | 9,04 | 18,08 | 16,2 |
| ГТК-25Н(М S 5002) | 0,82 | 92,5 | После СТ | 764 | 175 | 50 | 12,56 | 3,59 | 16,1 |
| ГТК-25ИР (MS 5002), ГТНР-25И (B) (MS5322R(B)) | 0,85 | 89,0 | После СТ | 775 | 230 | 130 | 12,31 | 6,96 | 17,2 |
| ГТНР-25И (C) (MS5322 R(C)) | 0,87 | 93,2 | После СТ | 795 | 235 | 130 | 13,59 | 6,92 | 17,1 |

 $^{^{1)}}$ - модернизированная камера сгорания (ОАО «ОРМА», НПП «ЭСТ» / НПФ «Теплофизика») $^{2)}$ - штатная/малоэмиссионная камера сгорания $^{3)}$ и $^{4)}$ - штатная/малоэмиссионная камера сгорания

ПРИЛОЖЕНИЕ Б (ОБЯЗАТЕЛЬНОЕ)

Таблица Б.1 - Типовой перечень измеряемых параметров

| Параметры | Обозначения | Единица измерения | Примечание |
|---|------------------------|----------------------|--|
| Барометрическое давление | P_{a} | МПа | Данные метеостанции или барометр-анероид |
| Температура атмосферного воздуха | t_{a} | °C | САУ агрегата |
| Относительная влажность атмосферного воздуха | φ | % | Данные метеостанции |
| Температура воздуха на входе в компрессор | t_3 | °C | САУ агрегата. При отсутствии замера рассчитывается по формуле $t_3 = t_a + 2.5$ °C |
| Температура отработавших газов в штатной точке измерения (<u>табл. А.1</u>) | $t_{	ext{\tiny IIIT}}$ | °C | САУ агрегата |
| Частота вращения компрессора высокого давления | $n_{B\!I\!\!I}$ | об/мин | Тоже |
| Частота вращения компрессора низкого давления | $n_{H\!J\!\!\!/}$ | об/мин | "_" |

| Частота вращения силовой турбины | n_{CT} | об/мин | "_" | | | | |
|---|----------------|--------|---------------------------|--|--|--|--|
| Избыточное давление воздуха за компрессором высокого давления | P_4 МПа | | "_" | | | | |
| Объемные доли или процентное содержание компонентов и В(3)В: | | | | | | | |
| Оксид азота | NO | ppm | Переносной газоанализатор | | | | |
| Диоксид азота | NO_2 | ppm | Тоже | | | | |
| Оксид углерода | СО | ppm | | | | | |
| Кислород | O_2 | % | | | | | |
| Диоксид углерода | CO_2 | % | | | | | |

Примечание - В качестве штатной точки измерения температуры отработавших газов могут быть использованы сечения перед ТВД, перед или после СТ и др.

ПРИЛОЖЕНИЕ В (СПРАВОЧНОЕ)

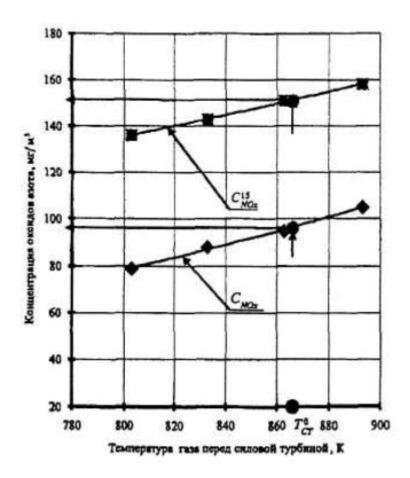
АЛГОРИТМ И ПРИМЕР ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ ГАЗОТУРБИННОГО АГРЕГАТА ГПА-Ц-18

Таблица В.1 - Результаты испытаний газотурбинного агрегата ГПА-Ц-18

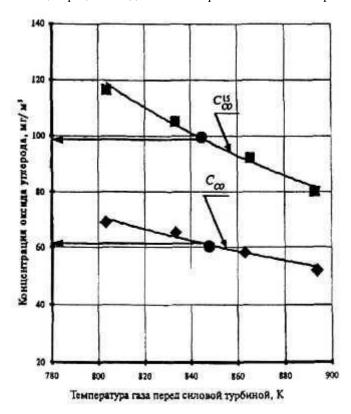
| П | 05 | Размерност | Δ | Режимы | | | | |
|--|--|----------------|------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--|
| Параметр | Обозначение | Ь | Формула или источник | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| Барометрическое давление воздуха | P_a | МПа | Замер | | 0,0 | 998 | | |
| Температура атмосферного воздуха | $t_{ m a} \ T_{ m a}$ | °C <i>K</i> | Тоже t _a + 273 | 22,1 295,1 | 22,1 295,1 | 22,3 295,3 | 22,3 295,3 | |
| Относительная влажность | φ | % | Замер | 50,9 | 51,4 | 52,3 | 52,8 | |
| Температура воздуха на входе в компрессор | t_3 T_3 | °C K | Тоже t ₃ + 273 | 21,7 294,7 | 21,8 294,8 | 22,0 295,0 | 21,9 294,9 | |
| Температура отработавших газов перед СТ | $egin{array}{c} t_2 \ T_2 \end{array}$ | °C K | Замер $t_2 + 273$ | 590 863 | 620 893 | 560 833 | 530 803 | |
| Частота вращения силовой турбины | n_{CT} | об/мин | Замер | 5109 | 5301 | 4895 | 4672 | |
| Частота вращения компрессора низкого давления | n _{КНД} | об/мин | Тоже | 5316 | 5428 | 5189 | 5060 | |
| Частота вращения компрессора высокого давления | $n_{\mathit{KB}\!\mathit{\square}}$ | об/мин | -«- | 6844 | 6951 | 6726 | 6612 | |
| Давление воздуха за компрессором: | | | | | | | | |
| - избыточное | P_4 | МПа | Замер | 0,868 | 0,915 0 | 0,817 9 | 0,769 8 | |
| - абсолютное | P_4 | МПа | $P_4 + P_{\alpha}$ | 0,968 7 | 1,014 8 | 0,917 7 | 0,869 6 | |

| Концентрация в сухих отработавших газах: | | | | | | | |
|--|--|-------------------|---|-------|-------|-------|-------|
| - оксида азота | NO | ppm | Замер | 43 | 48 | 39 | 34 |
| - диоксида азота | NO_2 | ppm | То же | 3,3 | 3,1 | 3,8 | 4,5 |
| - оксида углерода | CO | ppm | | 38 | 34 | 44 | 47 |
| - диоксида углерода | CO_2 | % | -«- | 2,2 | 2,3 | 2,1 | 2,0 |
| - кислорода | O_2 | % | -«- | 17,2 | 17,0 | 17,3 | 17,5 |
| - оксидов азота | $C_{NO,}$ | $M\Gamma/M^3$ | 2,053(NO+NO ₂) | 95 | 105 | 88 | 79 |
| - оксида углерода | C _{MO,} C _{co} | MΓ/M ³ | 1,250·CO | 59 | 53 | 65 | 68 |
| Приведенная концентрация (при 0 °C, $0,1013~\text{M}\Pi a$ и $15\%~\text{O}_2$) в сухих отработавших газах: | | | | | | | |
| - оксидов азота | $C_{NO_{\!\scriptscriptstyle A}}^{15}$ | $M\Gamma/M^3$ | 20,95-15 · C,00, | 151 | 158 | 143 | 136 |
| - оксида углерода | $C_{ m co}^{ m 15}$ | $M\Gamma/M^3$ | $\frac{20,95-15}{20,95-O_2} \cdot C_{co}$ | 94 | 80 | 106 | 117 |
| Коэффициент соотношения объемных расходов сухого и влажного отработавших газов | $K_{\scriptscriptstyle m B}$ | - | 89,5 110,5 -O₂ | 0,958 | 0,957 | 0,960 | 0,962 |
| Расход сухих отработавших газов | Q_2 | м ³ /С | $Q_2 = Q_2^0 \left(\frac{P_4}{P_4^0} \right)^{0.8} \cdot \left(\frac{288}{T_3} \right)^{0.5} \cdot \frac{P_a}{0.1013} \cdot K_r;$ | 74,9 | 77,6 | 71,8 | 68,9 |
| Мощность выброса: | | | | | | | |
| - оксидов азота | $M_{no_{\gamma}}$ | г/с | $C_{\scriptscriptstyle MO_{\scriptstyle m v}}\cdot Q_{\scriptstyle 2}\cdot 10^{-3}$ | 7,1 | 8,1 | 6,3 | 5,4 |
| - оксида углерода | M_{CO} | г/с | $C_{_{m{OO}_{_{m{v}}}}}\cdot Q_{2}\cdot 10^{-3}$ $C_{_{m{CO}}}\cdot Q_{2}\cdot 10^{-3}$ | 4,4 | 4,1 | 4,7 | 4,7 |
| Номинальные значения параметров: | | | | | | | |
| - абсолютное давление за компрессором высокого давления | P_{+}^{0} | МПа | <u>Таблица А.1</u> | | 0, | 95 | |
| - температура отработавших газов перед СТ | T_{on}^0 | K | Тоже | | 80 | 63 | |
| - расход отработавших газов | Q_2^0 | м³/с | -«- | | 79 | 9,1 | |
| Концентрация B(3)В в сухих отработавших газах: | | | | | | | |

| - оксидов азота | $C_{NO_{r_0}}$ | MΓ/M ³ | <u>п. 7.3.2,</u> рисунок В.1 | 96 |
|--|---|-------------------|--|------|
| - оксида углерода | $C_{NO_{n_0}}$ C_{CO_0} | $M\Gamma/M^3$ | <u>п. 7.3.2,</u> рисунок В.2 | 61 |
| Приведенная концентрация в сухих отработавших газах: | | | | |
| - оксидов азота | $C_{NO_{n_0}}^{15}$ $C_{CO_0}^{15}$ | мг/м³ | <u>п. 7.3.2,</u> рисунок В.1 | 151 |
| - оксида углерода | C CO ₆ | MΓ/M ³ | <u>п. 7.3.2,</u> рисунок В.2 | 99 |
| Величина нормативной приведенной концентрации: | | | | |
| - оксидов азота | $C^{15_0}_{NO_{\lambda}}$ | MΓ/M ³ | <u>Таблица А.1</u> | 140 |
| - оксида углерода | $C^{1S_0}_{NO_{\lambda}} = C^{1S_0}_{OO}$ | MΓ/M ³ | Таблица А.1 | 100 |
| Коэффициент соответствия нормативной концентрации: | | | | |
| - оксидов азота | $K_{NO_{\lambda}}$ | % | $\left(\frac{C_{M\mathcal{O}_{V_b}}^{13}}{C_{M\mathcal{O}_{V}}^{13_b}} - 1\right) \cdot 100$ | +7,9 |
| - оксида углерода | K_{co} | % | $\left(\frac{C_{CO_b}^{15}}{C_{CO}^{15_b}} - 1\right) \cdot 100$ | -1,0 |



 $C_{
m NO}$ -измеренная, $C_{
m NO}^{15}$ -приведенная Рисунок В.1 - Концентрация оксидов азота в отработавших газах агрегата ГПА-Ц-18



 $C_{\rm CO}$ - измеренная, $C_{\rm CO}$ - приведенная Рисунок В.2 - Концентрация оксида углерода в отработавших газах агрегата ГПА-Ц-18 Пример - Обработка результатов испытаний газотурбинного агрегата ГПА-Ц-18.

Алгоритм и пример обработки измеренных параметров приведены в <u>таблице В.1</u> и на рисунках В.1 и В.2 по результатам испытаний агрегата ГПА-Ц-18 на четырех режимах (первый режим в данном случае является текущим штатным режимом).

Результаты испытаний показывают, что у обследованного агрегата номинальные значения концентраций оксидов азота (рисунок B.1) и оксида углерода (рисунок B.2) составляют, соответственно, 151 и 99 мг/м³.

Сравнивая эти значения с данными таблицы А.1 (Приложение А), получаем

$$K_{NO_{\lambda}} = \left(\frac{151}{140} - 1\right) \cdot 100 = 7,9\%;$$

$$K_{CO} = \left(\frac{99}{100} - 1\right) \cdot 100 = -1\%;$$

т.е. обследованный агрегат по приведенным концентрациям оксидов азота и углерода в отработавших газах соответствует показателям НД, приведенным в таблице А.1 (Приложение А). Таким образом, при проведении вычислений выбросов В(3)В номинальные значения оксидов азота и углерода допускается принимать по данным таблицы А.1 (Приложение А).

Согласно результатам испытаний газотурбинного агрегата ГПА-Ц-18, приведенным в таблице В.1, мощность выброса на текущем штатном режиме составляет по оксидам азота $M_{\rm NO}$ = 7,1 г/с и оксиду углерода $M_{\rm CO}$ = 4,4 г/с.

БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] Инструкции по эксплуатации газоанализаторов типа «Testo», «IMR», «ДАГ».
- [2] Перечень методик выполнения измерений концентраций загрязняющих веществ в выбросах промышленных предприятий. НИИ «Атмосфера» МПР России, 2001 (в т.ч. ПНД Ф 13.1:2.26-99 «Методика выполнения измерений массовой концентрации предельных углеводородов C_1 - C_5 , C_6 и выше (суммарно), в воздухе рабочей зоны и промышленных выбросах методом газовой хромотографии»).
- [3] РД 51-164-92 «Временная инструкция по проведению контрольных измерений вредных выбросов газотурбинных установок на компрессорных станциях, ВНИИГАЗ».

Ключевые слова: инструкция, выбросы, контрольные измерения, вредные (загрязняющие) вещества, отработавшие (выхлопные) газы, газотурбинные установки ГПА