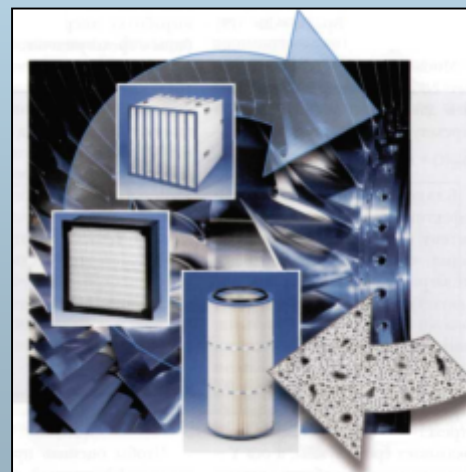


**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ**  
Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»**

**Модуль 5** Способы повышения эффективности ГТУ

**Тема 4** Очистка выбросов ГТУ от вредных веществ



Разработчик: к.х.н., доцент каф. ТХНГ Н.В. Чухарева

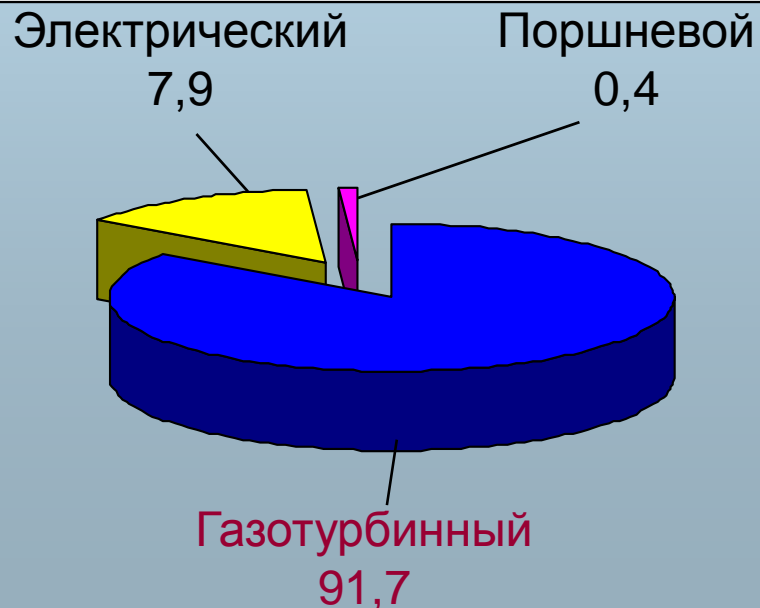


## КОМПРЕССОРНЫЙ ПАРК (44 млн. кВт)

## ГАЗОТУРБИННЫЙ ПАРК (37,7 млн. кВт)

Мощность (единичная) ГПА, МВт	до 8	16	25	Всего
Установленная мощность, %	12,2	41,2	13,3	100
К.п.д. номинальный, %	24 – 30	27– 36	28 – 39	29,0

### ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ДОЛЯ ПРИВОДА, %



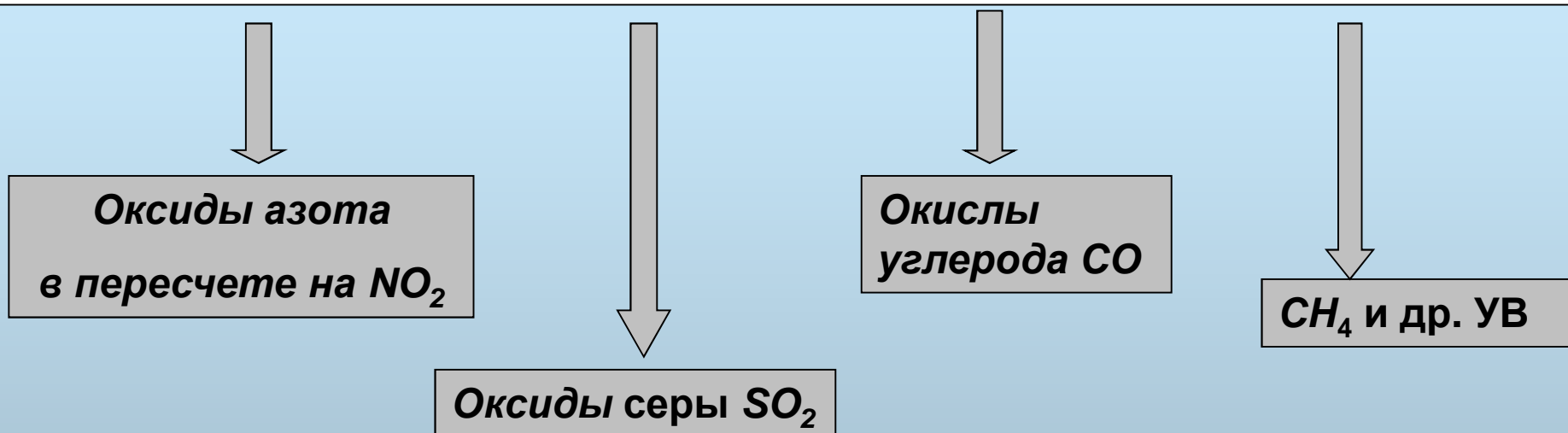
### ЭМИССИЯ NOx/CO

средняя удельная 180/240 мг/м<sup>3</sup>  
валовая 140/200 тыс.т/год

### ЭМИССИЯ CO<sub>2</sub>

валовая 81,5 млн.т/год

## ЗАГРЯЗНЯЮЩИЕ ГАЗООБРАЗНЫЕ ВЕЩЕСТВА



В настоящее время поступления в атмосферу с продуктами сгорания ГТУ оцениваются следующими величинами: **оксида азота – 140 тыс.т/год, оксид углерода – 210 тыс.т/год, углекислый газ – 81,5 млн.т/год.**

Средневзвешенная концентрация загрязняющих веществ составляет: **оксида азота – около 180 мг/м<sup>3</sup>, оксида углерода – около 250 мг/м<sup>3</sup>**

## Предельно-допустимые концентрации некоторых газообразных веществ в атмосферном воздухе и воздухе производственных помещений

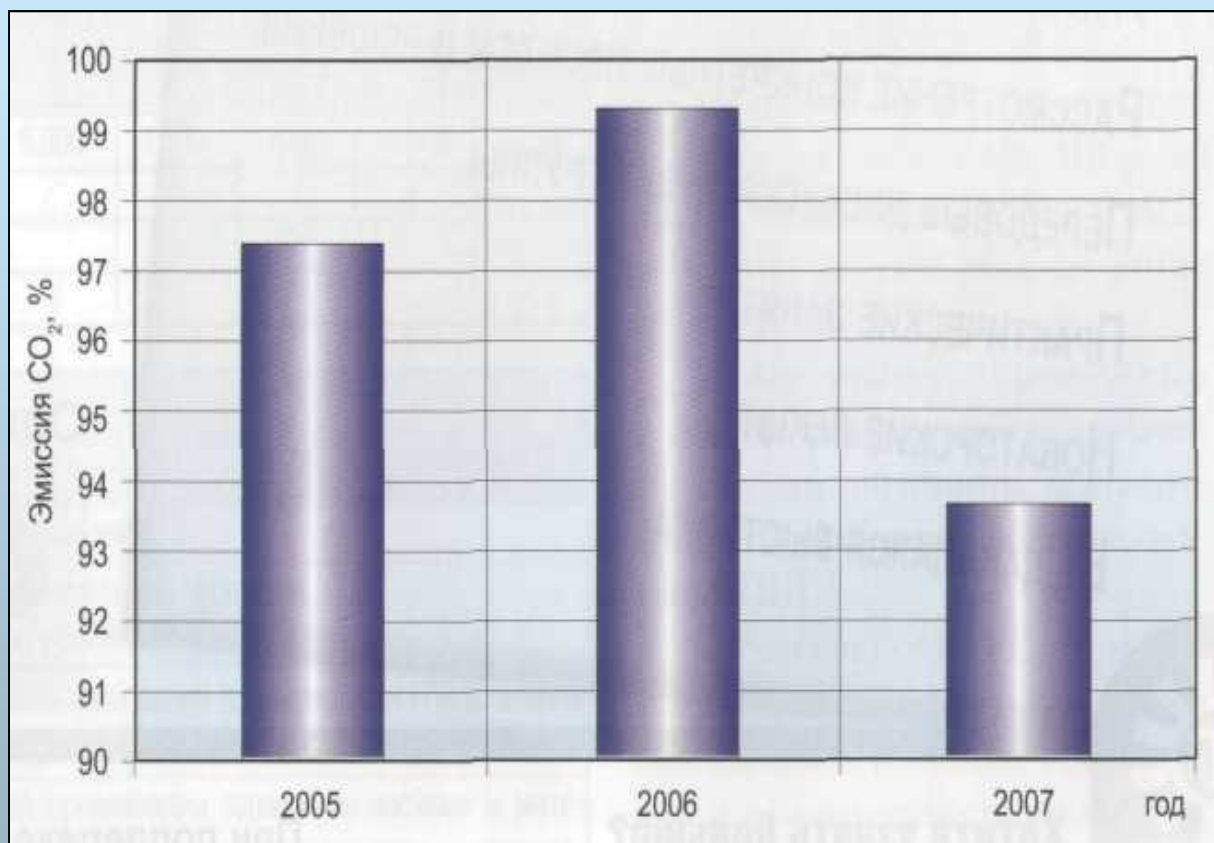
<i>Вещество</i>	<i>ПДК в атмосферном воздухе, мг/м<sup>3</sup></i>	<i>ПДК в воздухе производственных помещений, мг/м<sup>3</sup></i>
Диоксид азота	Максимальная разовая 0,085 Среднесуточная 0,04	2
Диоксид серы	Максимальная разовая 0,5 Среднесуточная 0,05	10
Монооксид углерода	Максимальная разовая 5,0 Среднесуточная 3,0	В течение рабочего дня 20 В течение 60 мин.* 50 В течение 30 мин.* 100 В течение 15 мин.* 200

## Показатели выбросов оксидов азота и углерода с продуктами сгорания для ряда газотурбинных установок, эксплуатируемых на газопроводах

<i>Тип ГТУ</i>	<i>Расход продуктов сгорания, м<sup>3</sup>/с</i>	<i>Мощность выброса, NO<sub>x</sub> г/с</i>	<i>Концент рация, NO<sub>y</sub> мг/м<sup>3</sup></i>	<i>Мощность выброса, CO, г/с</i>	<i>Концент рация, CO, мг/м<sup>3</sup></i>
ГТ-700-5	35,4	6,89	200	1,72	50
ГТК-5	35,4	6,89	200	1,72	50
ГТ-6-750	37,1	3,57	100	5,35	150
ГТН-6	37,1	3,57	100	5,35	150
ГТ-750-6	45,6	15,5	350	2,66	60
ГПА-Ц-6,3	47,1	3,04	70	6,52	150
ГПУ-6	23,3	2,41	109	5,18	234
ГПА-Ц-8	47,8	4,83	110	6,58	150
ГПУ-10	68,1	4,3	70	1,84	30
ГТН-10И	40,6	7,68	200	1,92	50
ГТНР-10	66,6	11,7	180	1,95	30
ГТК-16	79,2	7,57	100	1,51	20
ГТН-16	67,4	11,6	180	12,9	200
ГТН-16М-1	66,6	6,88	108	13,8	217
ГПА-Ц-16	80,5	7,73	100	30,9	400
ГПУ-16	76,2	6,4	88	0,73	10
ГТН-25	117,3	13,4	120	39,2	350

## Динамика выбросов $\text{CO}_2$ при сжигании топливного газа на газоперекачивающих агрегатах ОАО «Газпром»

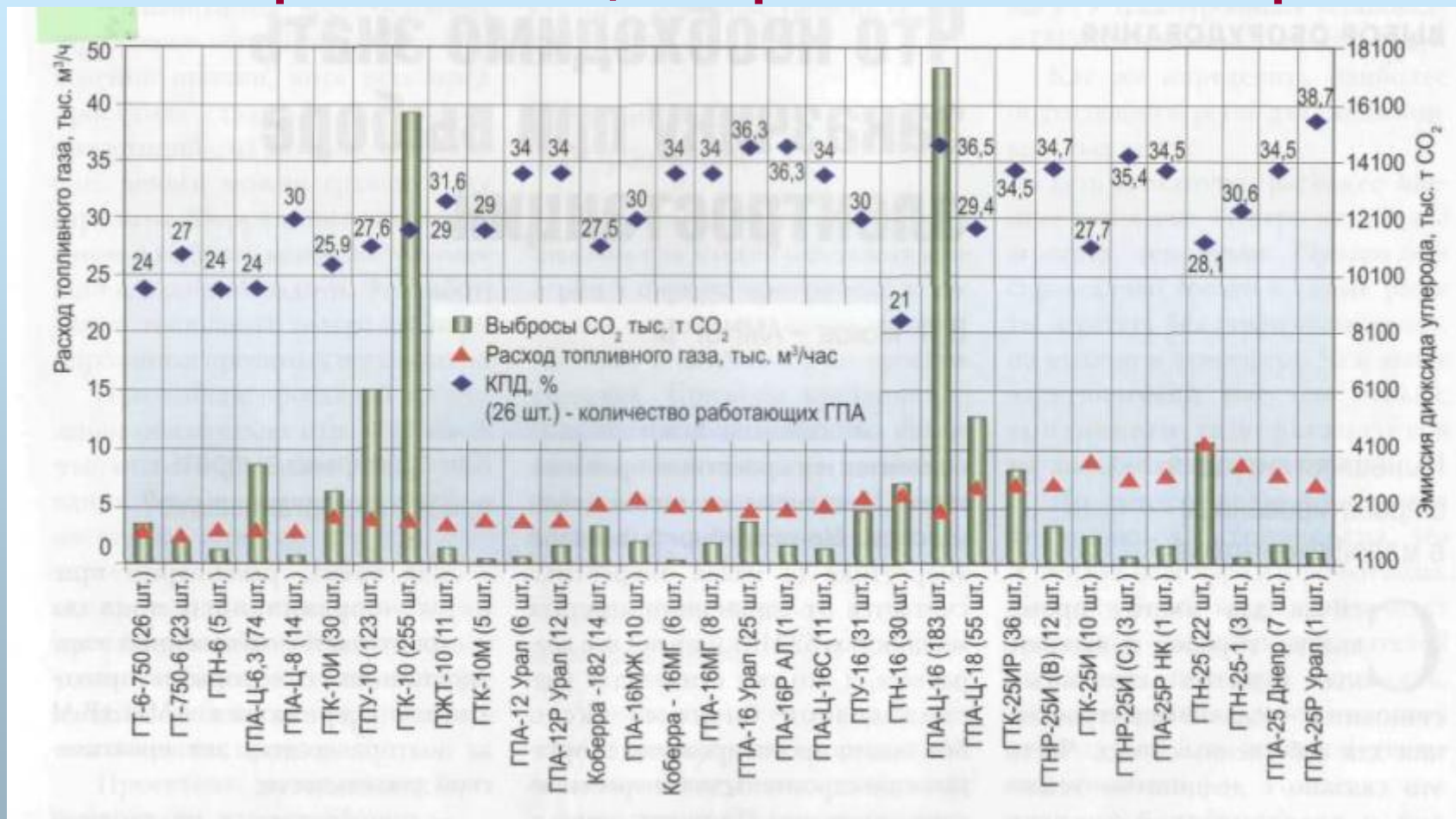
По данным инвентаризации выбросов парниковых газов ОАО «Газпром» установлено, что основную их долю составляет  $\text{CO}_2$



Динамика выбросов  $\text{CO}_2$  в результате сжигания природного газа на топливные нужды газоперекачивающих агрегатов дочерними обществами ОАО «Газпром» по результатам обследований ООО «ВНИИГАЗ» в период с 2005 по 2008 год показывает снижение уровня эмиссии



## Показатели эмиссии CO<sub>2</sub> различных типов газоперекачивающих агрегатов ОАО «Газпром»

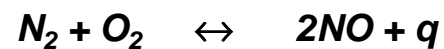


ООО «ВНИИГАЗ» был проведен детальный анализ показателей эмиссии диоксида углерода в зависимости от различных типов газоперекачивающих агрегатов. ГПА эксплуатируются в 6 дочерних компаниях

## ОКСИДЫ АЗОТА NOx

ТЕРМИЧЕСКИЕ

образуются в факеле горения в результате высокотемпературной цепной реакции окисления атмосферного азота свободным кислородом



БЫСТРЫЕ

образуются при температуре ниже 1000 К на начальном участке фронта пламени

выход составляет 100...120 мг/м<sup>3</sup>

не зависят от температуры горения

малое время образования

при температуре 300 К их выход больше чем термических оксидов азота

ТОПЛИВНЫЕ

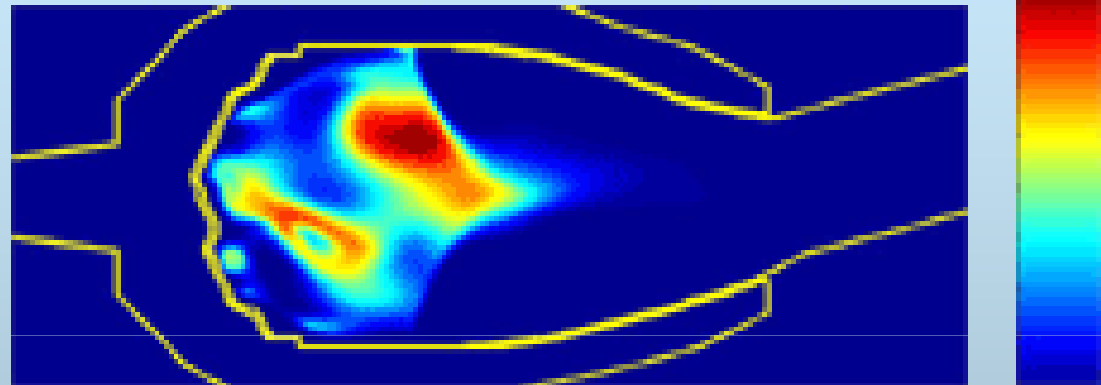
образуются из азотсодержащих соединений топлива на начальном участке факела горения одновременно с «быстрыми» но до появления «термических»



## ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ОБРАЗОВАНИЕ ОКСИДОВ АЗОТА

Температура

Время



Скорость образования оксидов азота при  
горении топливного газа

Коэффициент избытка воздуха  $\alpha$

Теплонапряженность камеры сгорания  $q$

Решающее влияние на образование «термических» оксидов азота оказывает **температура сгорания и время образования**



При температурах  $T$  ниже 1300...1400 К содержание  $\text{NO}$  в продуктах сгорания практически отсутствует

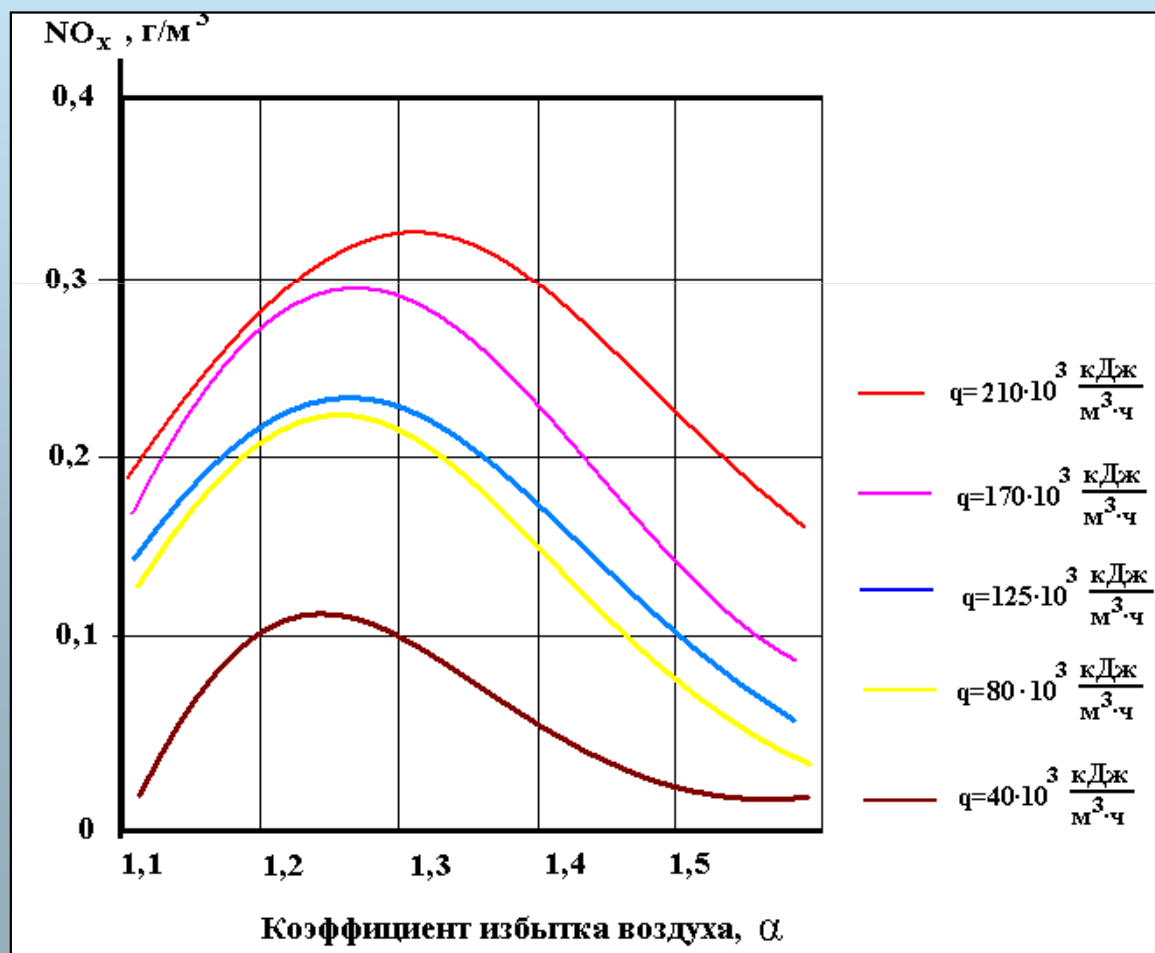
При температуре в пределах 1700 К содержание  $\text{NO}$  достигает до 2 г/м<sup>3</sup>, что значительно превышает предельно допустимую среднесуточную концентрацию оксида азота



Образование «термических» оксидов  $\text{NO}_x$  резко возрастает с повышением температуры в зоне горения и с увеличением концентрации атомарного кислорода

Образование атомарного кислорода в пламени происходит не только за счет диссоциации  $\text{O}_2$ , но и в ряде других реакций. Содержание его при горении углеводородов может достигать 0,4...0,8 %.

## Концентрация оксида азота на выходе из камеры сгорания в зависимости от изменения коэффициента избытка воздуха в зоне горения при различных тепловых напряжениях



## Влияние температуры воздуха, подаваемого в зону горения, на образование оксидов азота



## **Основные направления по контролю и ограничению эмиссии NOx и CO<sub>2</sub>**

**Новые типы малотоксичных ГТУ**

**Модернизация камер сгорания эксплуатируемых ГПА**

**Исследование влияния режимных и эксплуатационных факторов**

**Исследование процессов рассеивания и трансформации выбросов в атмосфере**

**Мониторинг выбросов и состояния атмосферы**

**Каталитические камеры сгорания (NOx менее 10 мг/м<sup>3</sup>)**

**Современная система фильтрации**



## **МОНИТОРИНГ ВЫБРОСОВ И СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРЫ**

**Мониторинг выбросов с  
продуктами сгорания**

**Мониторинг атмосферы  
на крупных КС**

**Система контроля и учета выбросов NOx и CO**



**Периодические контрольные измерения с  
помощью переносных приборов**

**Периодические контрольные измерения с  
помощью стационарных приборов**



**Расчет валовых выбросов на основе эксплуатационных  
данных по инструкциям, разработанным ВНИИГАЗ**

## ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ВЫБРОСОВ И СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРЫ

Создание системы мониторинга с прямым измерением концентраций (международное название – «CEMS»)

Создание системы мониторинга на основе штатных экологических характеристик с периодическим их контролем путем физических измерений концентраций (типа «PEMS»)

Для новых типов ГТУ обе системы должны быть встроены в агрегатную САУ

Для эксплуатируемых ГТУ – в виде дополнительной системы

Контроль за показателем коэффициента избытка воздуха



Снижение количества избыточного кислорода на 1% повышает КПД системы сжигания топлива также на 1%



## Применение газоанализаторов



	testo 350 S	testo 350 XL
Максимальное количество модулей		
O <sub>2</sub>	0-25% об.	
CO (H <sub>2</sub> )	0-10,000 ppm	
CO <sub>низ</sub> (H <sub>2</sub> )	0-500 ppm	
NO	0-3,000 ppm (разрешение 0,1 ppm)	
NO <sub>низ</sub>	0-300 ppm (разрешение 0,1 ppm)	
NO <sub>2</sub>	0-500 ppm (разрешение 0,1 ppm)	
SO <sub>2</sub>	0-5,000 ppm	
HC	0-4 об. (разрешение 0,1%)	
H <sub>2</sub> S	0-300 ppm (разрешение 0,1 ppm)	
CO <sub>2</sub>	0-50 об. %	

Testo 350 S\XL-модульная измерительная система для анализа дымовых газов

**1** - управляющий модуль съемный со встроенным принтером и дисплеем

**2** - анализатор дымовых газов с интегрированным измерительным модулем и блоком пробоподготовки

**3** - тесты и разрешения

**4** - зонд отбора пробы

## ОЧИСТКА ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ

### Механические методы

Очистку отходящих продуктов сгорания производят фильтрующими материалами и пылеуловителями (механические методы, по принципу центробежных сил, по принципу смачивания поверхности мехпримесей)

### Химические методы

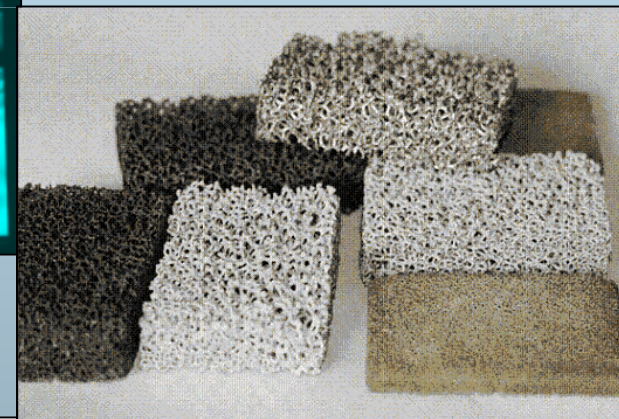
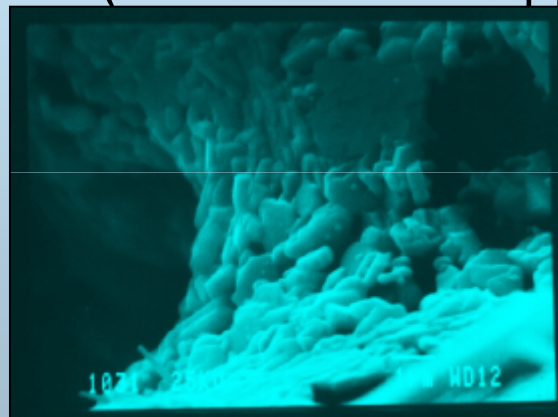
Восстановительные, основанные на восстановлении оксидов азота до азота и кислорода с применением разного рода катализаторов

Окислительные, основанные на окислении оксидов азота и углерода в диоксиды с последующим его поглощением разного рода поглотителями

Сорбционные, основанные на поглощении оксидов азота разного рода сорбентами

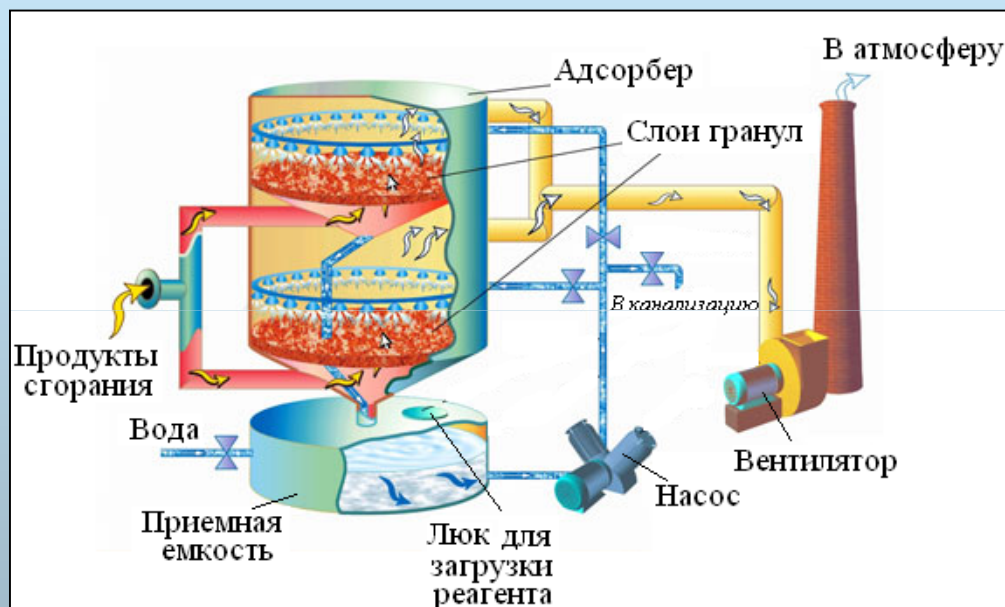
Методы **селективного каталитического восстановления** имеют ограничения использовать из-за больших капитальных и эксплуатационных затрат (до 5500 долларов на 1 т NOx ) и, проблем экологической безопасности при использовании аммиака (300-900 т в год на агрегат)

Термокаталитические системы с нанопокрытиями, разработанные Екатеринбургским КБ «ЧКЗ-ЮГСОН»



Данная технология позволяет использовать в качестве носителей высокопористые проницаемые ячеистые материалы, обладающие высокоразвитой поверхностью и малым гидравлическим сопротивлением, или керамические сотовые материалы, отличающиеся возможностью работать при высоких температурах и на сильно запыленных газах

Новизна другой технологии, разработанной ВНИИНМ, ВНИИ Неорганических материалов им. А.А.Бочвара обусловлена тем, что созданная научным коллективом ВНИИ установка очистки газов от оксидов азота «СМОГ» при помощи сорбционных методов (адсорбционный, абсорбционный и хемосорбционный) восстанавливает оксиды азота на пористых носителях



В качестве носителей могут быть использованы алюмогель, цеолиты, силикагель или активированный уголь. Носители покрыты раствором карбамида или смесью карбомида с бикарбонатом аммония, или при введении в газовый поток аммиака. Процесс протекает при температурах до 100 °С. Продуктами взаимодействия являются азот, вода, углекислый газ (в случае карбамида) и разбавленная азотная кислота

## ВВЕДЕНИЕ ВОДЫ В КС

Введение воды в камеру сгорания (КС) предназначено для снижения максимальной температуры газов в зоне горения, что предотвращает образование «термических» оксидов азота. Расчеты показывают, что для ГТУ мощностью примерно 9МВт впрыск пара в количестве примерно 2,5 % от расхода первичного воздуха позволяет снизить выход оксидов азота примерно в 2 раза

Метод впрыска воды в ГТУ не планируется из-за потребности больших количеств дистиллированной воды: до 40 тыс.т/год на цех, или порядка 100 т воды на 1 т сокращения NOx ; по зарубежным данным затраты до 3200 долларов на 1 тонну NOx

ГОСТ 28775-90 Агрегаты газоперекачивающие с газотурбинным приводом.  
Общие технические условия

ГОСТ 29328-92 Установки газотурбинные для привода турбогенераторов.  
Общие технические условия

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

РД 51-162-92 Каталог удельных выбросов загрязняющих веществ газотурбинных установок ГПА. ВНИИГАЗ, 1993 (2004)

РД 51-164-92 Временная инструкция по проведению контрольных измерений вредных выбросов газотурбинных установок на компрессорных станциях. ВНИИГАЗ, 1992 (2004)

РД 51-165-92 Временная инструкция по учету валовых выбросов оксидов азота и углерода на компрессорных станциях по измеренным параметрам работы ГПА. ВНИИГАЗ, 1992

РД 51-166-92 Временная инструкция по учету валовых выбросов оксидов азота и углерода на газотурбинных компрессорных станциях по измеренному количеству топливного газа. ВНИИГАЗ, 1992

Технологический регламент на проектирование компрессорных станций (атмосферный воздух). ВНИИГАЗ. 1994



# Благодарю за внимание!

## Перечень рекомендуемой литературы по Модулю 5



### Основная:

- Газотурбинные установки: учебное пособие/ А.В. Рудаченко, Н.В. Чухарева, С.С. Байкин.– Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 139с.
- Энергетика трубопроводного транспорта газов: Учебное пособие / А.Н. Козаченко, В.Н. Никишин, Б.П. Поршаков – М.: ГУП Издательство «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2001. – 400 с.
- Манушин Э.А. Газовые турбины. Проблемы и перспективы. М.: Энергоатомиздат, 1986.- 168 с.

### Дополнительная:

- Газотурбинные технологии. Специализированно-аналитический журнал. Изд-во «Медиа Гранд»
- ГОСТ 4.433-86. Установки газотурбинные стационарные. Но-менклатура показателей.
- ГОСТ 21199-82. Установки газотурбинные. Общие техниче-ские требования.
- Повышение эффективности использования газа на компрессорных станциях / Динков В.А., Гриценко А.И., Васильев Ю.Н., Мужиливский П.М. - М.: Недра, 1981,- 296 с