



# Разработка предложений по совершенствованию системы сжигания котельного агрегата большой мощности

## *Круглый стол*

*«Опыт ВТИ по снижению выбросов оксидов азота технологическими методами на газовых и газомазутных котлах»*

в рамках конференции

*IV Международной научно-технической конференции «Использование твердых топлив для эффективного и экологически чистого производства электроэнергии и тепла»,*

Григорьев Дмитрий к.т.н.  
ООО «ЭКОГОР» г. Москва  
Октябрь

ООО «ЭКОГОР» – (экологическое горение, экологические горелки, экологический город), инжиниринг и поставка систем сжигания. Осуществляет свою деятельность по инженерному сопровождению проектов, направленных на повышение эффективности и экологичности сжигания топлива на промышленных, добывающих и энергетических предприятиях.

**Миссия компании:** адаптация и освоение в России лучших мировых технологий сжигания топлива.  
Основной проект - локализация до 90% в России производства и технологии горелочных устройств второго поколения и выше.

**Специалисты ЭКОГОР** принимали участие в реализации проектов с высокотехнологичными горелочными устройствами за рубежом. Перенимали знания у ведущих мировых специалистов по горению.

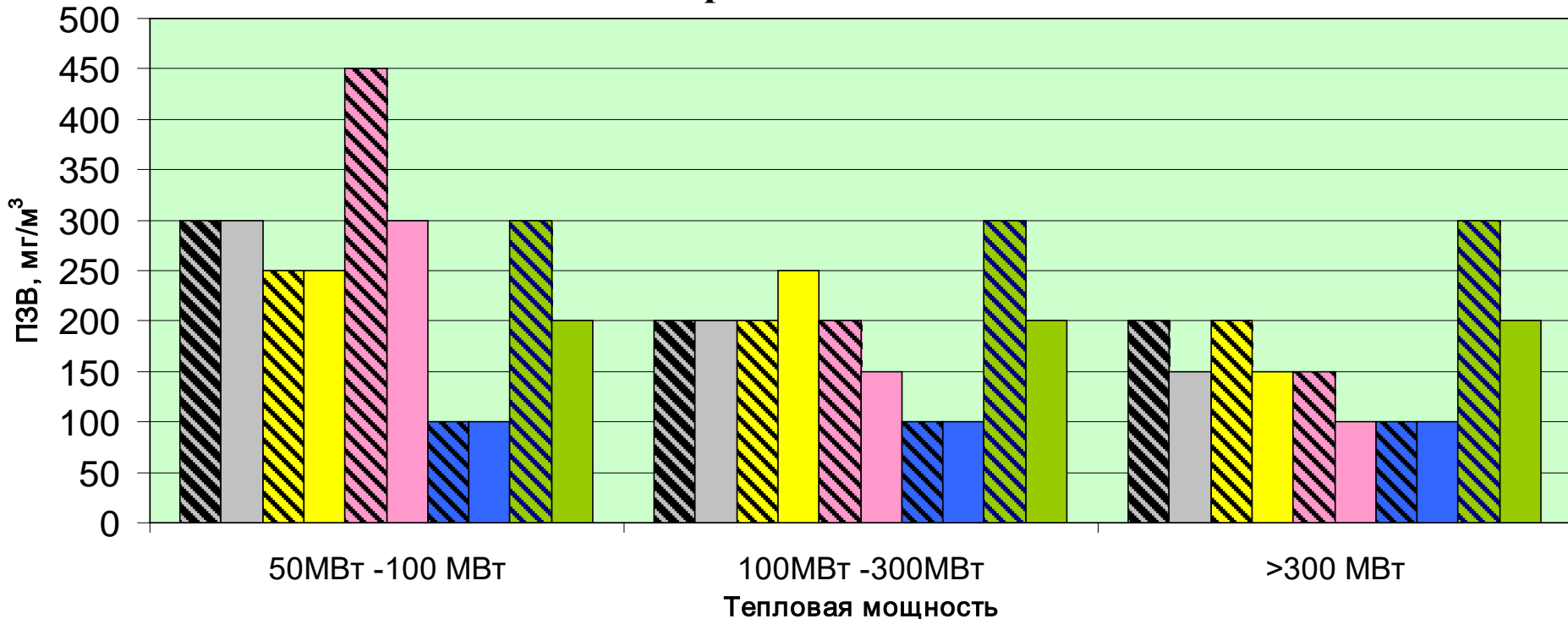




# Требования по выбросам в соответствии Гётеборгскому протоколу

Наилучшие доступные технологии сжигания

## Предельные значения выбросов оксидов азота из установок для сжигания с номинальной тепловой мощностью превышающей 50 МВт



■ Уголь (существующие установки)

■ Уголь (новые установки)

■ Биомасса, торф (существующие установки)

■ Биомасса, торф (новые установки)

■ Жидкое топливо (существующие установки)

■ Жидкое топливо (новые установки)

■ Природный газ (существующие установки)

■ Природный газ (новые установки)

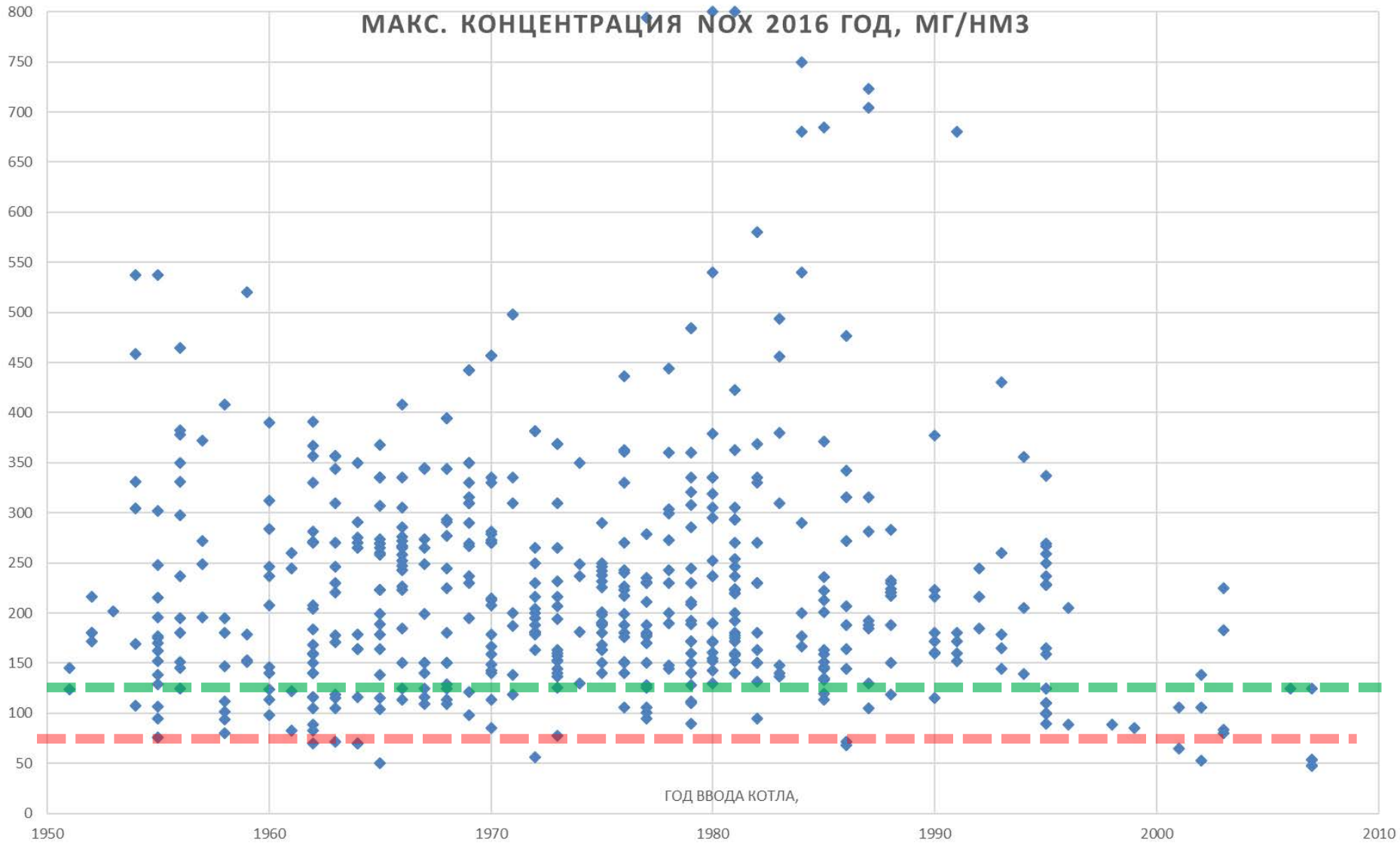
■ Другие виды газообразного топлива (существующие установки)

■ Другие виды газообразного топлива (новые установки)

# Выбросы NOx котлов России при сжигании газа\*

Наилучшие доступные технологии сжигания

МАКС. КОНЦЕНТРАЦИЯ NOx 2016 ГОД, МГ/НМЗ



Гётеборгский протокол

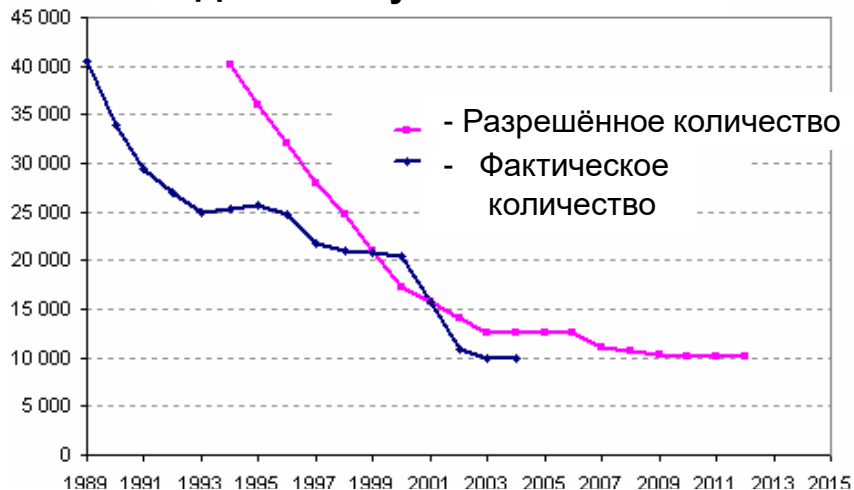
ГОСТ 50831-95

\* - Рабочие материалы ИТС-38

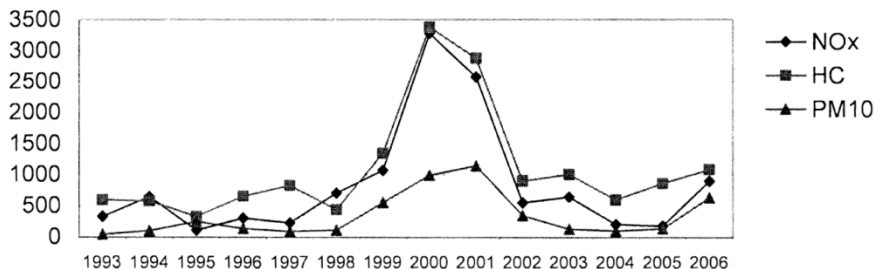


С 2010 года в Калифорнии для стационарных источников мощностью более 30 т/ч пара выбросы оксидов азота не должны превышать более 5 ppm (10 мг/м<sup>3</sup> при 3% O<sub>2</sub>).

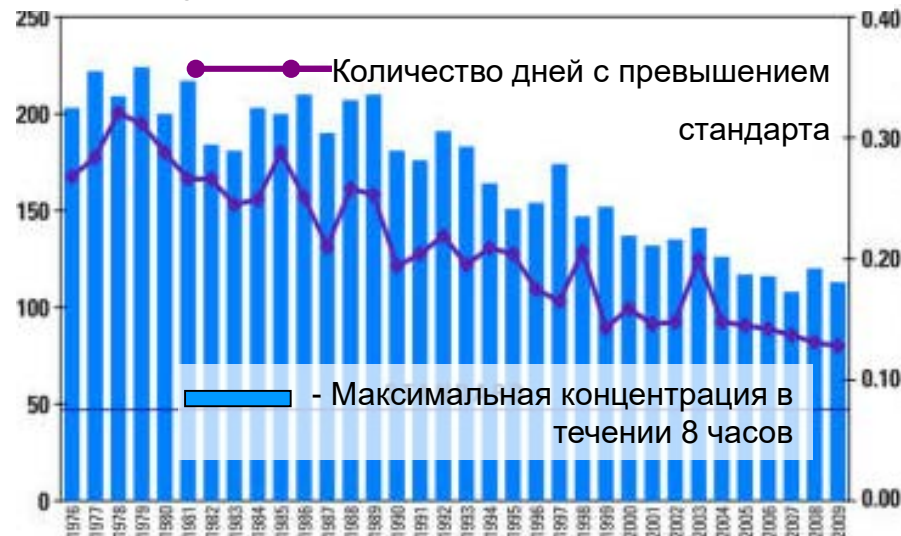
### Динамика уменьшения NOx



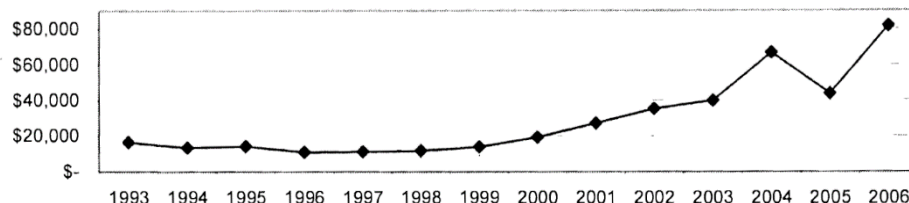
### Объём рынка выбросов в тоннах 1993-2006 г



### Динамика уменьшения загрязнения 1976-2009 г.



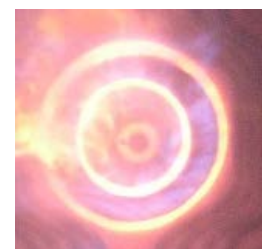
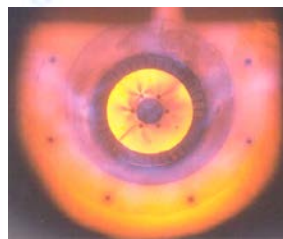
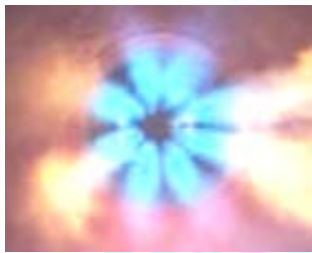
### Средняя цена \$/тонн NOx на рынке 1993-2006 г



**В штате Калифорния была создана система финансирования природоохранных мероприятий. На уровне Мегалополисов России возможно внедрить подобную систему для реализации программ перехода на НДТ.**

# Технологическое обеспечение законодательных инициатив в США

Progress in Reducing Ozone Pollution 1976-2009



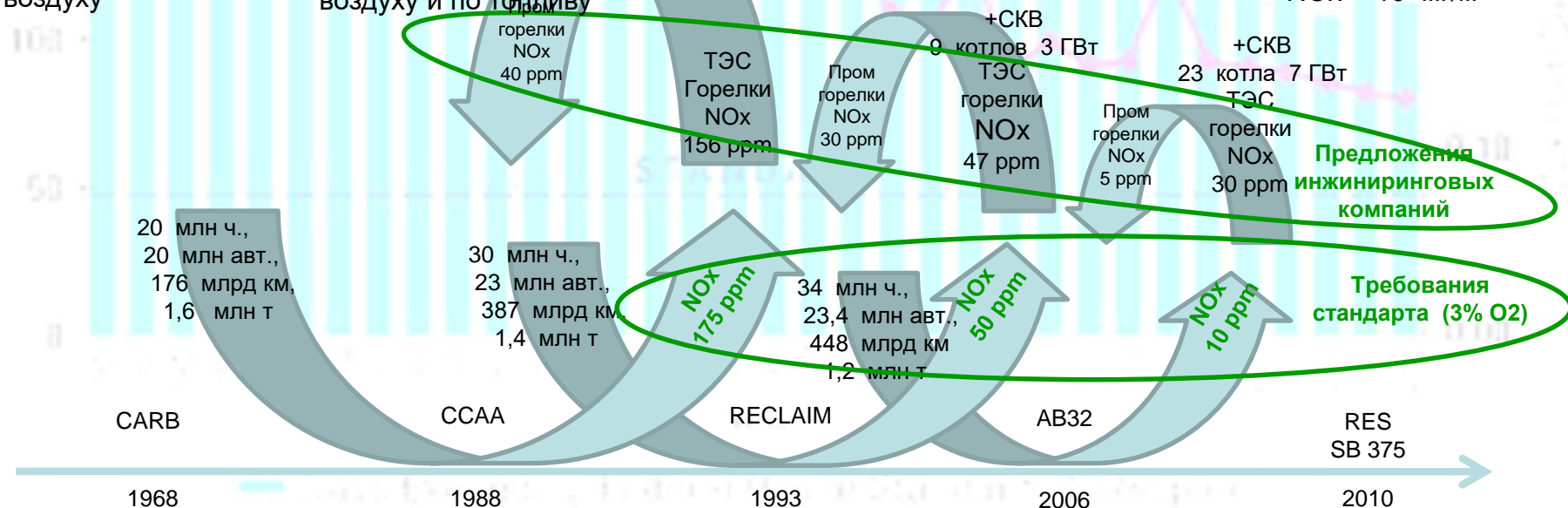
Первое (1-е) поколение горелок.  
Достижимый уровень NOx - 100 мг/м<sup>3</sup>  
Внутрифакельная ступенчатость по воздуху

Второе (2-е) поколение горелок.  
Достижимый уровень NOx - 80 мг/м<sup>3</sup>  
Внутрифакельная ступенчатость по воздуху и по топливу

Третье (3-е) поколение горелок.  
Достижимый уровень NOx - 40 мг/м<sup>3</sup>

Четвёртое (4-е) поколение горелок.  
Достижимый уровень NOx - 20 мг/м<sup>3</sup>  
Организация быстрого смешения

Пятое (5-е) поколение горелок.  
Достижимый уровень NOx - 10 мг/м<sup>3</sup>



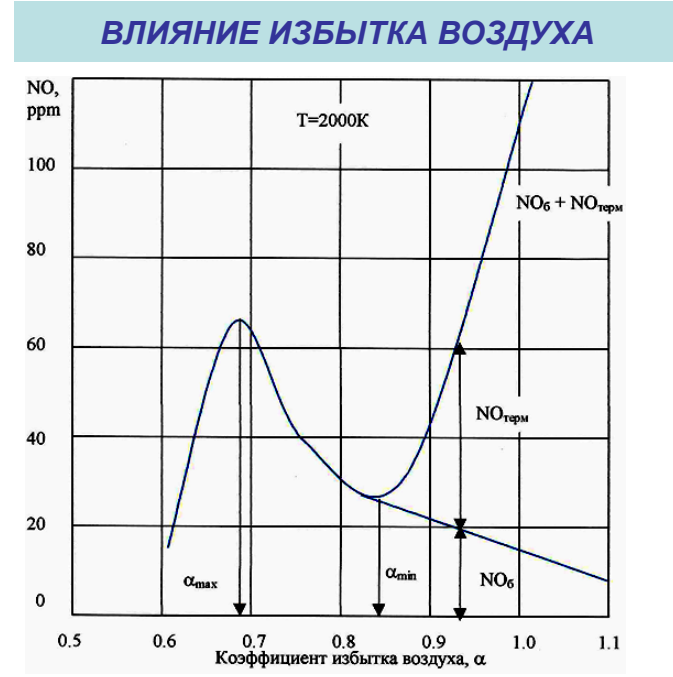
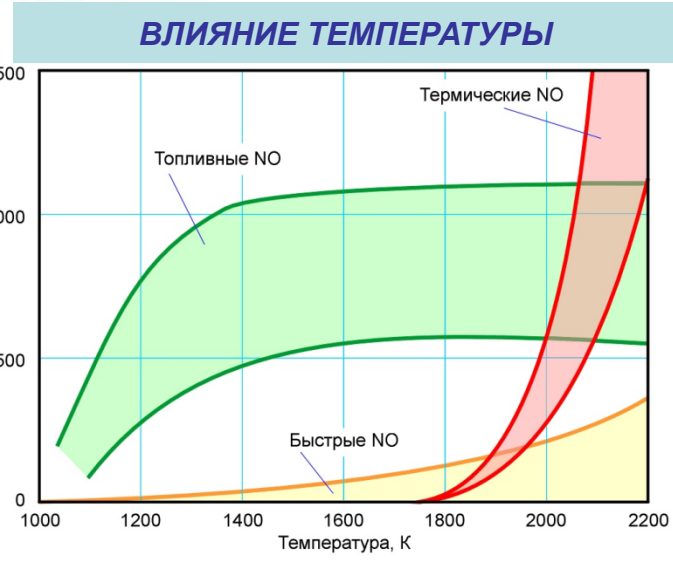
Экологические требования США привели к разработке и применению в США горелок 5-го поколения, в то время как в России применяются горелки 1-го поколения и ниже

**Целесообразно рассматривать применение горелок второго поколения и выше**

# Технологические методы снижения выбросов NOx

Наилучшие доступные технологии сжигания

$$NO_x = f(N^P, T_{ЗАГ}, q_{ЗАГ}, \alpha_{ЗАГ}, T_{ЗАГ})$$





# Проблемы применения первичных мероприятий

Наилучшие доступные технологии сжигания

Увеличение доли газов рециркуляции и увеличение доли третичного дутья может привести:

- Дополнительные капитальные затраты и затраты на собственные нужды
- Повышение температуры уходящих газов – снижение КПД
- Увеличение объёмов продуктов горения (скорости дымовых газов – рабочей среды) – вибрации котла
- Повышение температуры на выходе из топки – увеличение количества впрысков, снижение надежности работы поверхностей нагрева, Снижение КПД котла
- Увеличение избытков воздуха – снижение КПД

Для новых котлов поверхности нагрева можно изначально проектировать под применение первичных мероприятий (котел конструируется вокруг горелки).

В случае реконструкции котельных агрегатов не рассчитанных на работу с большим количеством газов рециркуляции и третичного дутья необходимо применять горелочные устройства второго третьего поколения, которые могут позволить достичь снижения выбросов оксидов азота до приемлемого уровня без снижения технико-экономических показателей работы котла.





**Сжигание топлива должно обеспечивать следующие требуемые показатели работы котла:**

- **КПД**
  - наименьший  $q_2$  (мин  $\alpha < 1,05$ , мин  $t$  уходящих газов)
  - Отсутствие мех. и хим. недожёга  $q_3$   $q_4$
  - Наименьшие эксплуатационные затраты (сопротивление, рециркуляция)
- **Надёжность работы поверхностей нагрева**
  - Отсутствие взаимодействия факела с экранами
  - Требуемая температура на выходе из топки (светимость факела)
  - Требуемая температура в ядре факела
- **Эксплуатационные характеристики**
  - Диапазон регулирования 1-10
  - Простота управления (наименьшее количество регулируемых позиций топочно-горелочного устройства)
  - Постоянство характеристик работы на всём жизненном цикле
- **Надёжность работы**
  - Требуемые срывные характеристики
  - Соответствие ПБ
- **Выбросы загрязняющих веществ**
  - Оксиды азота, монооксид углерода
  - Уровень звука

Нет понятия горелка – есть понятие топочно-горелочное устройство (амбразура, геометрические размеры, размещение в топке)

Топочно-горелочное устройство – это элемент газо-воздушного тракта (сопротивление, равномерность подачи воздуха по горелкам и по сечению горелки, вибрация)

Предлагается не горелка, а низкие выбросы оксидов азота, для этого требуется:

- низкоэмиссионные горелки;
- Организация работы котла с малыми избытками воздуха;
- Организация ступенчатого сжигания топлива;
- Организация рециркуляции дымовых газов в смеси с основным воздухом;
- Организация равномерности распределения воздуха по горелкам и по сечению горелки
- Точно спрофилированная амбразура горелки

Состав проекта реконструкции:

1. Анализ состояния газозадушного тракта
2. Математическое моделирование профиля топочно-горелочного устройства во взаимосвязи с газозадушным трактом
3. Физическое изотермическое моделирование воздушного тракта с выдачей проекта конструктивных элементов воздушного короба
4. Изготовление и поставка горелочных устройств
5. Шефмонтаж и шефналадка



### Актуальность

В текущем состоянии системы сжигания котельный агрегат работает с пониженным КПД, с повышенными выбросами оксидов азота, большие ежегодные затраты на поддержание работоспособности системы сжигания.

### Цель работы

Оценка состояния и разработка предложений по совершенствованию системы сжигания на котле

### Задачи:

#### 1. Исследование состояния системы сжигания котла

##### 2.1.1. Натурные измерения и исследование состояния воздухопроводов (ППР Дефектация воздухопроводов)

1.2. Анализ состояния тягодутьевых механизмов и воздушных шиберов

1.3. Натурные измерения и исследование состояния амбразур и элементов горелочных устройств со стороны топки котла (ППР Дефектация амбразур)

#### 3. Испытания котельного агрегата

2.1. Исследование работы воздушного тракта котла

2.2. Исследование работы газовой схемы, автоматизированной системы управления горением

2.3. Исследование работы котла при различных режимах

#### 4. Проведение работ по физическому моделированию воздушного тракта котла

#### 5. Проведение расчетных исследований газодинамики и процессов горения с применением программных продуктов математического моделирования FLUENT

#### 6. Проведение расчетных исследований работы котла с применением Boiler Designer

#### 7. Разработка технических предложений

6.1. Предложения по реконструкции амбразур и элементов горелочных устройств

6.2. Предложения по реконструкции воздухопроводов и органов управления

6.3. Предложения по улучшению работы системы управления горением

6.4. Предложения по замене горелочных устройств

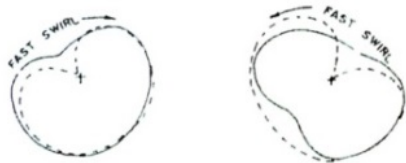
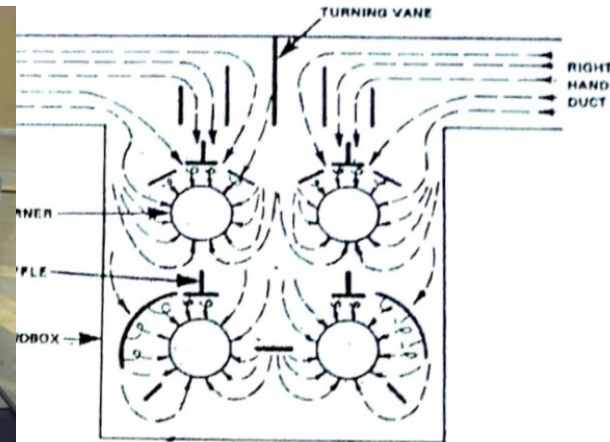
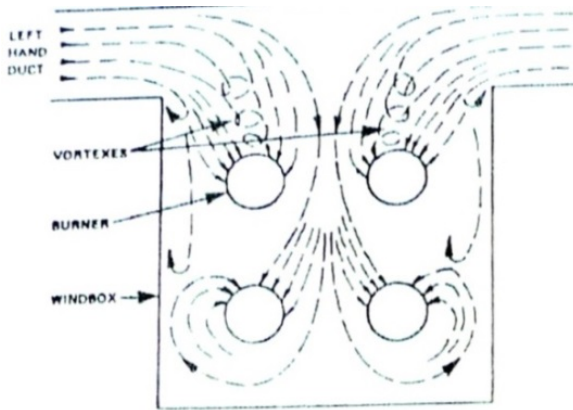
#### 8. Технико-экономический анализ различных вариантов улучшения работы системы сжигания котла

Более 93 % объёма среды, проходящей через горелку - это воздух, и в зависимости от качества его подачи зависит качество горения

До

Воздушное моделирование

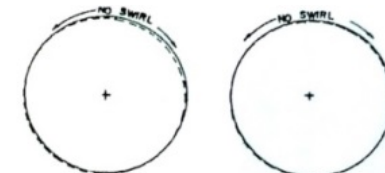
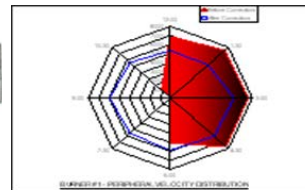
После



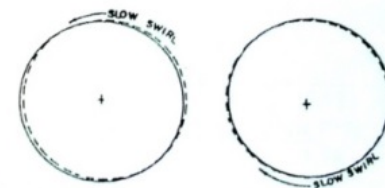
	$\bar{v}$ (m·s <sup>-1</sup> )	$\frac{\Delta v}{\bar{v}} \times 100\%$	$Q$ (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	$\bar{v}$ (m·s <sup>-1</sup> )	$\frac{\Delta v}{\bar{v}} \times 100\%$	$Q$ (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )
Y1	1768	+34.0-100.0	0*0.00646 m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup>	19.22	+27.0-100.0	0*0.0067 m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup>
Y2	19498	+25.0-53.0	50*+18.5%	19596	+26.4-41.0	50*+15.35%



	$\bar{v}$ (m·s <sup>-1</sup> )	$\frac{\Delta v}{\bar{v}} \times 100\%$	$Q$ (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	$\bar{v}$ (m·s <sup>-1</sup> )	$\frac{\Delta v}{\bar{v}} \times 100\%$	$Q$ (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )
Y1	26.924	+3.8-6.8	0*0.009317 m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup>	26.921	+5.6-5.4	0*0.00917 m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup>
Y2	27.438	+3.9-4.9	50*+18.59%	26.07	+10.5-7.5	50*+15.18%

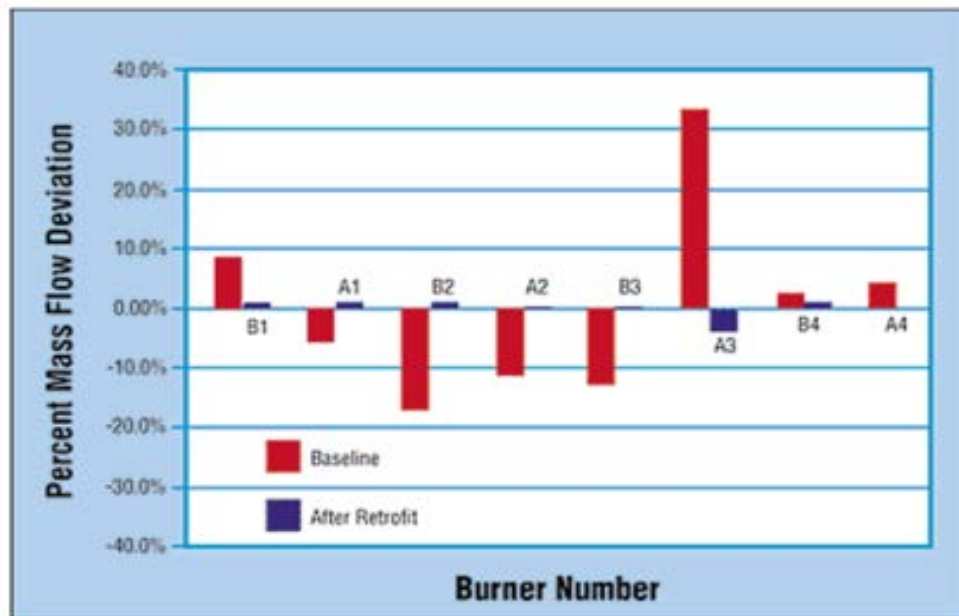
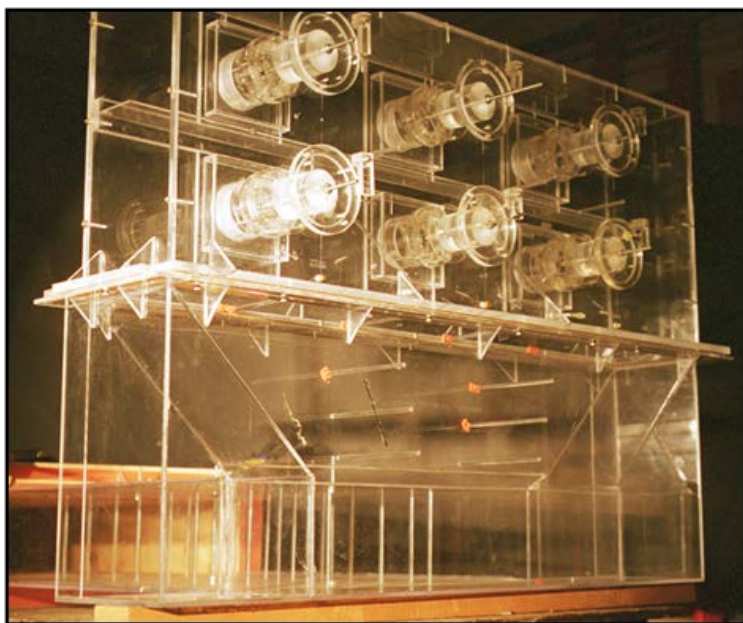
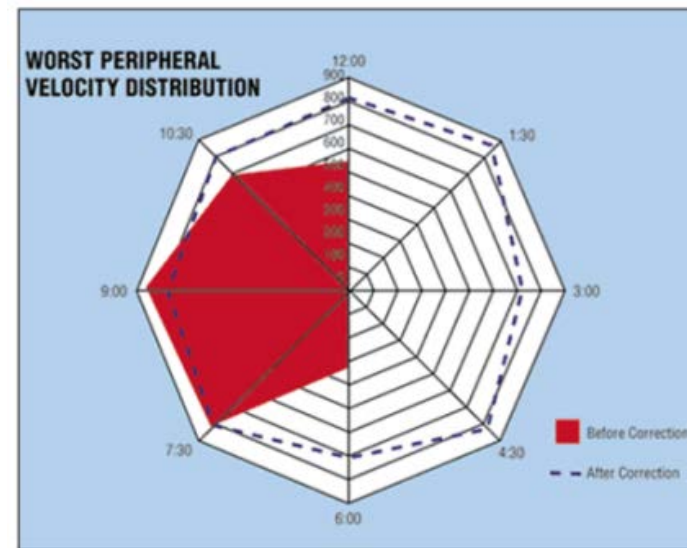
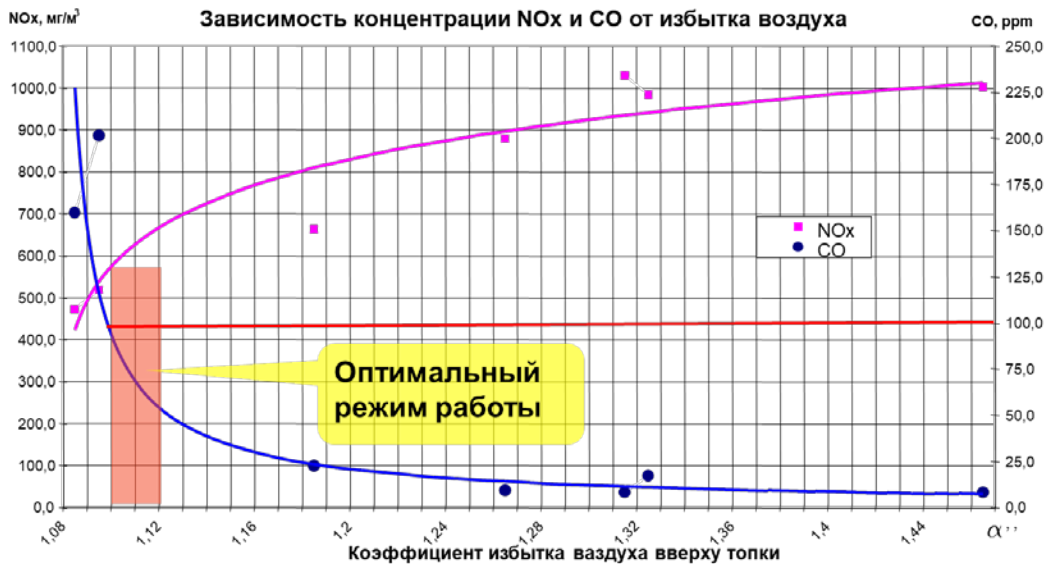


	$\bar{v}$ (m·s <sup>-1</sup> )	$\frac{\Delta v}{\bar{v}} \times 100\%$	$Q$ (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	$\bar{v}$ (m·s <sup>-1</sup> )	$\frac{\Delta v}{\bar{v}} \times 100\%$	$Q$ (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )
r1	28.40	+3.4-2.7	0*0.00907 m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup>	28.48	+3.1-2.0	0*0.00907 m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup>
r2	28.44	+3.3-3.9	50*+0.0%	28.44	+1.3-2.0	50*+0.01%



	$\bar{v}$ (m·s <sup>-1</sup> )	$\frac{\Delta v}{\bar{v}} \times 100\%$	$Q$ (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	$\bar{v}$ (m·s <sup>-1</sup> )	$\frac{\Delta v}{\bar{v}} \times 100\%$	$Q$ (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )
r1	28.11	+2.5-1.7	0*0.009723 m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup>	29.03	+3.1-4.9	0*0.00995 m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup>
r2	28.23	+3.0-2.2	50*+1.28%	28.72	+5.0-7.1	50*+1.28%

## Наилучшие доступные технологии сжигания





# Натурные измерения воздушного тракта

Наилучшие доступные технологии сжигания

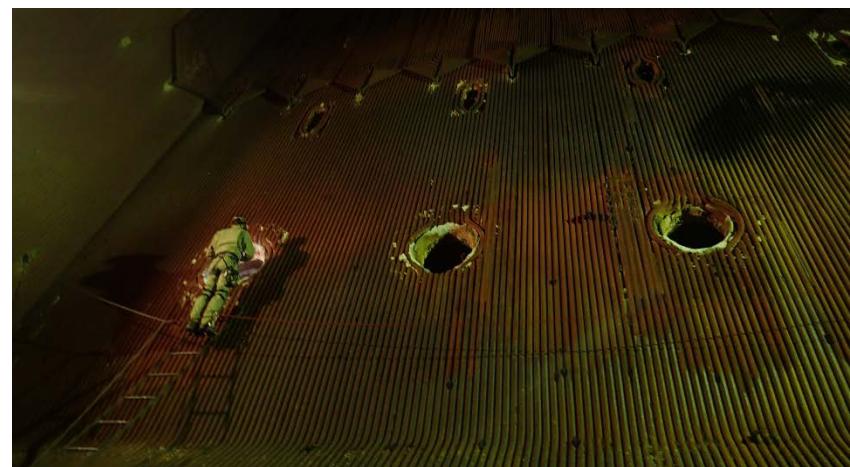
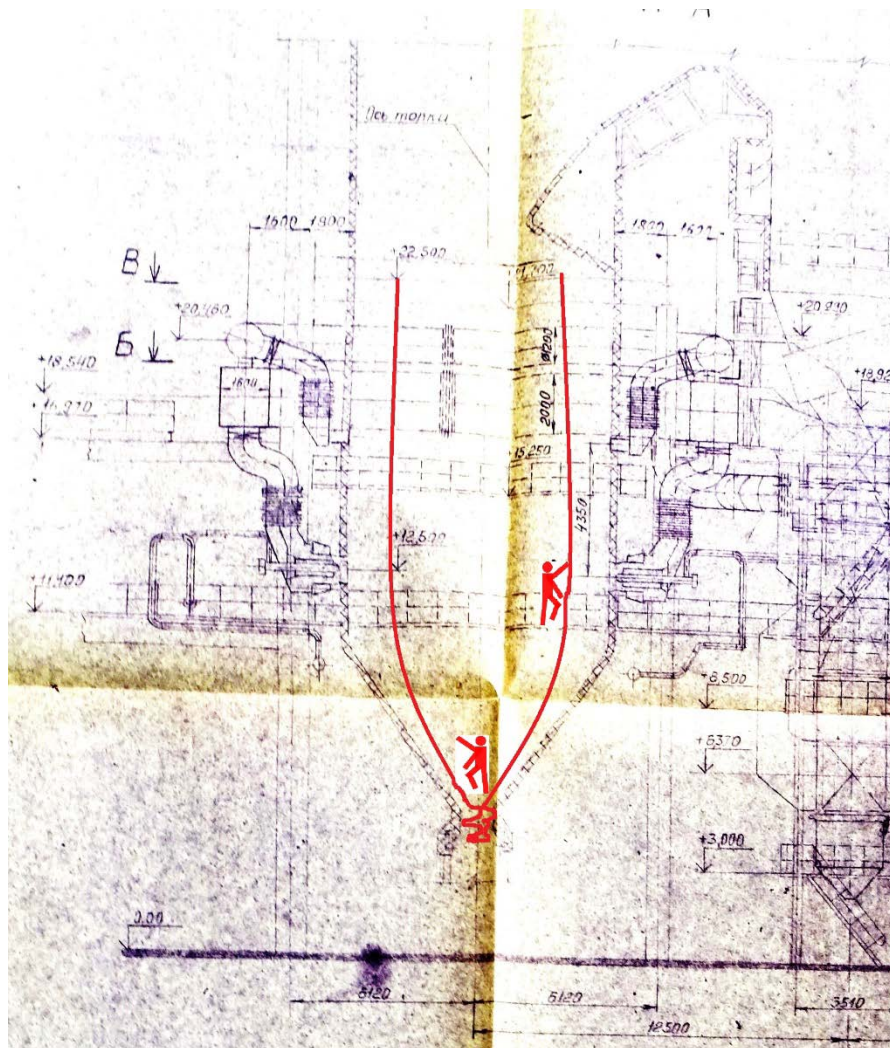
Цель: определить истинное состояние воздушного тракта

Результат: исходные данные для физического моделирования



Цель: определить истинное состояние размеров и состояние амбразур и элементов горелочного устройства

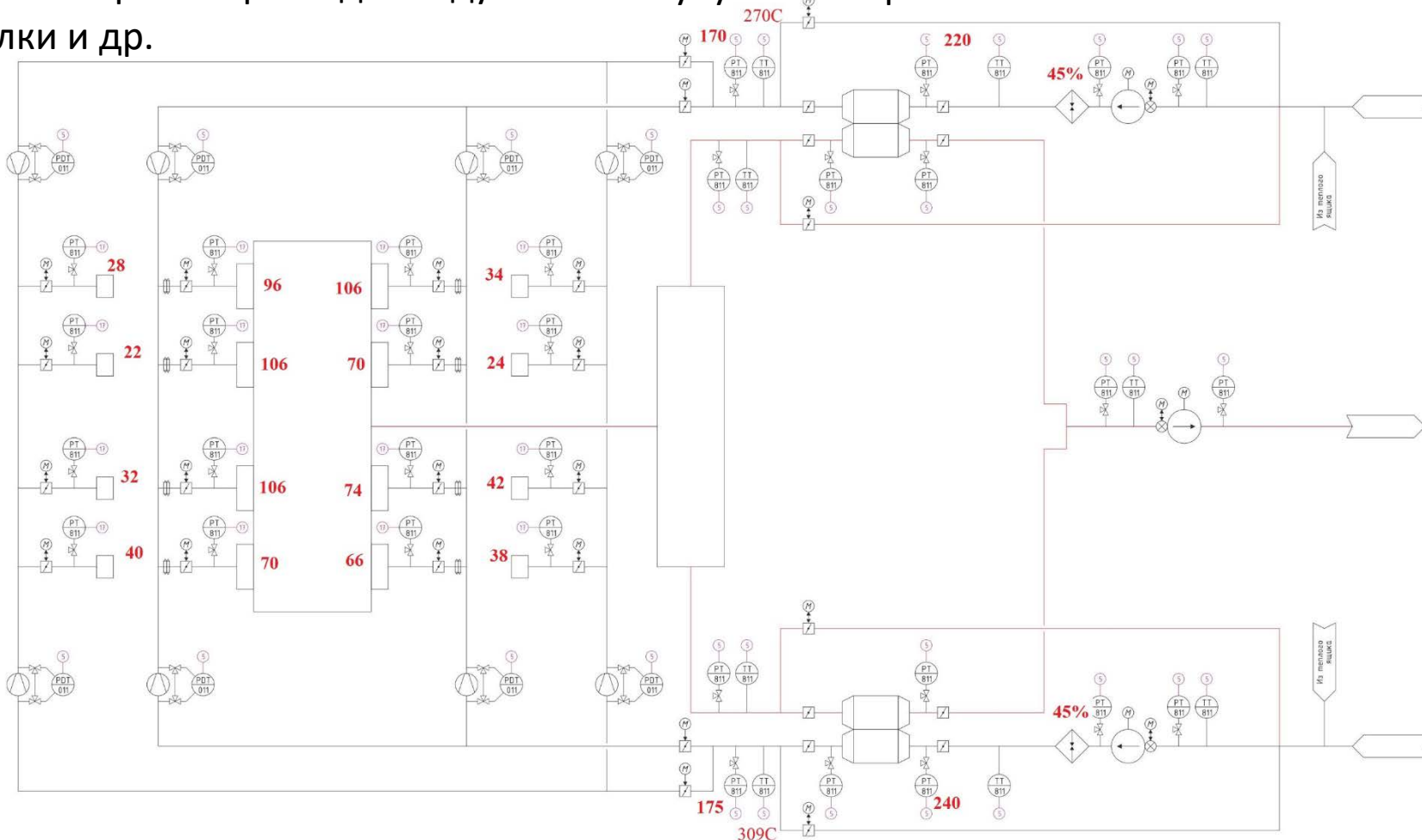
Результат: входные данные для разработки предложений по улучшению работы системы сжигания





Цель: получение характеристик работы воздушного тракта, воздушного тракта, неравномерность расхода воздуха на горелки и др.

Результат: входные данные для физического моделирования, и разработке предложений по улучшению работы системы сжигания



Измерения показали, что разница давления воздуха перед горелками составляет около 40%. Разница температур горячего воздуха по сторонам котла около 15%.



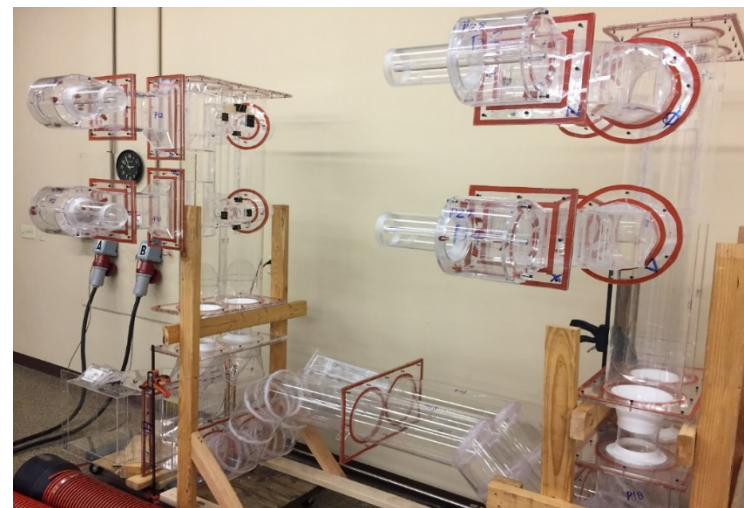
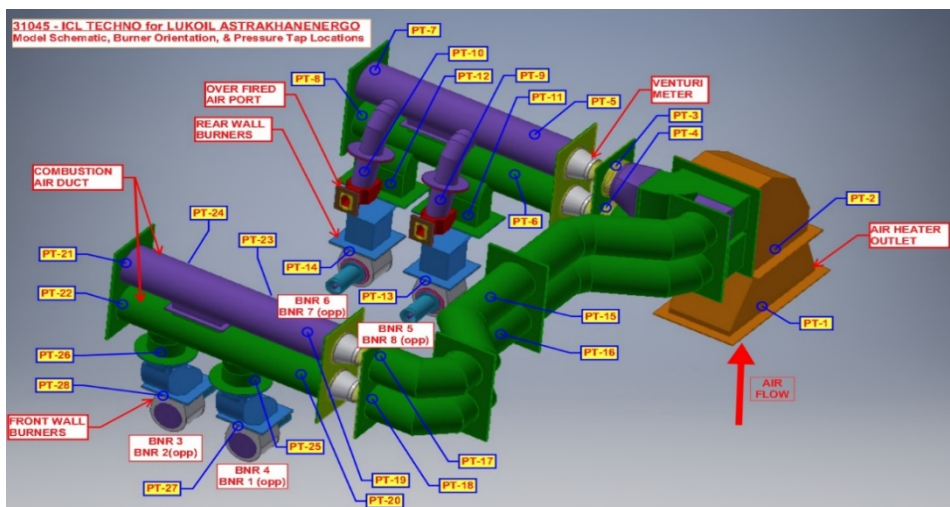


Цель: определить систему конструктивных элементов, обеспечивающих равномерность подачи воздуха по горелкам

Физическое моделирование проводится с целью обеспечения равномерности расхода воздуха по сечению горелки и через каждую горелку с отклонением менее 5%. В результате физического моделирования определяется место положение и размеры конструктивных элементы воздушного короба, обеспечивающие требуемую равномерность течения воздуха.

- Устраняет неравномерность распределения воздуха между горелками и по окружности на выходе из амбразуры на каждой горелке
- Устраняет ненужную закрутку
- Улучшает стабильность горения и эмиссий

Результат: предложения по реконструкции воздушного тракта





**Направляющие лопатки на входе к каждой горелке**

**Направляющие лопатки на пути и на входе в короба 3-х горелок**



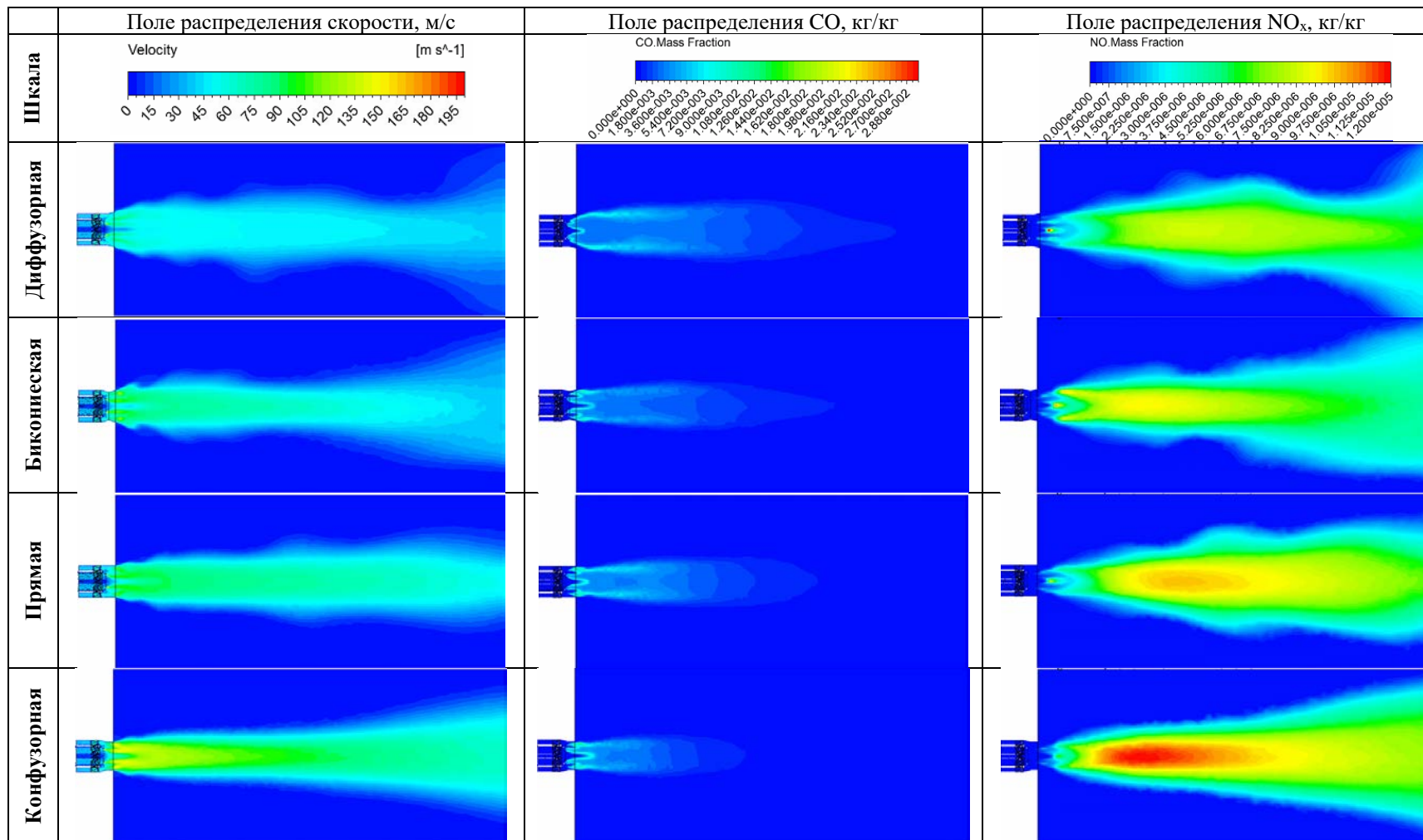


# Математическое моделирование в ANSYS (FLUENT) ЭКОГОР

Наилучшие доступные технологии сжигания

Цель: определение мероприятий, влияющих на улучшение работы системы сжигания

Результат: предложения по совершенствованию системы сжигания (конструкция амбразур и элементов горелки)



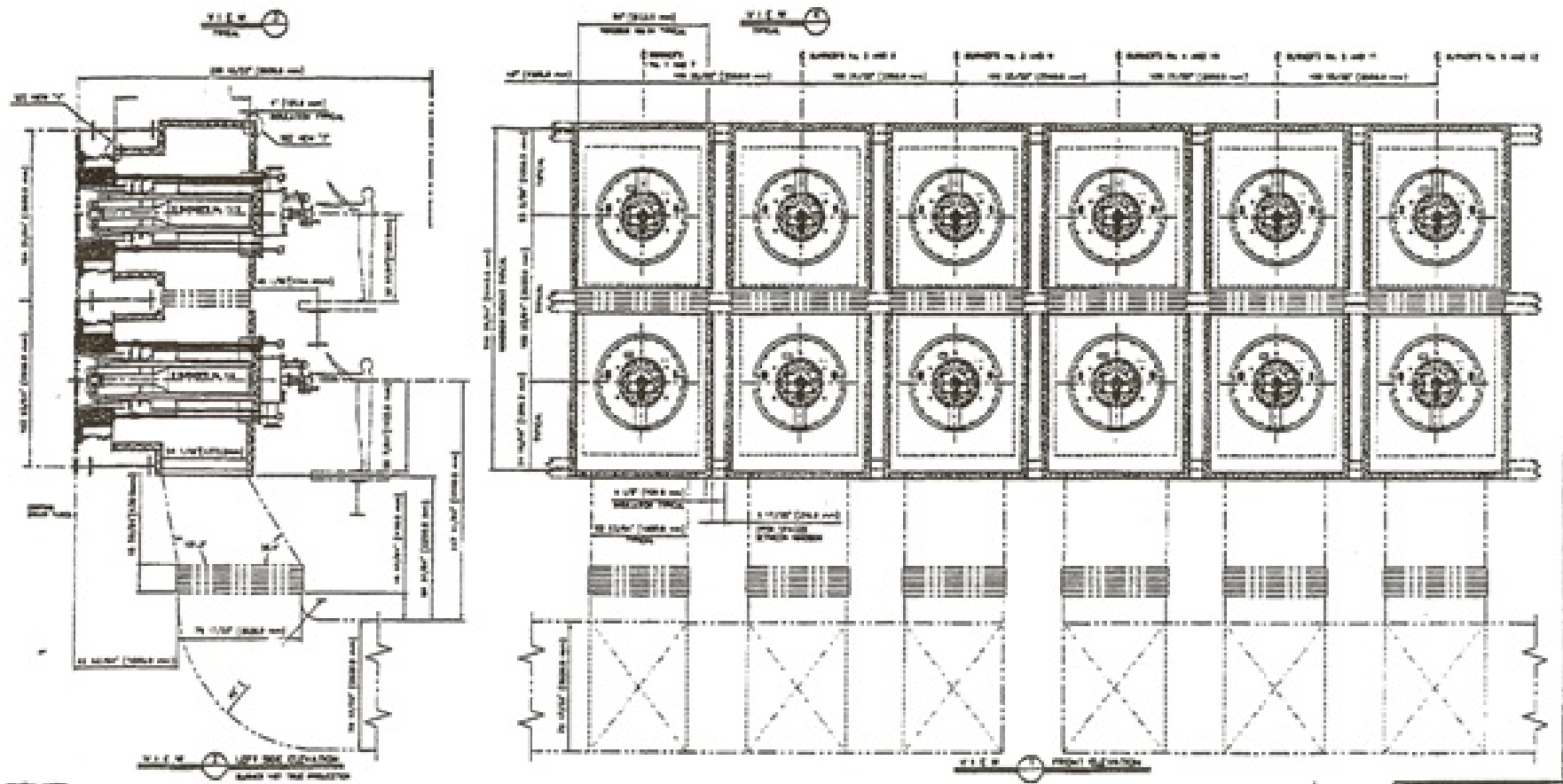
Исследование влияние профиля амбразуры на работу горелочного устройства





# Предложения по общему воздушному коробу

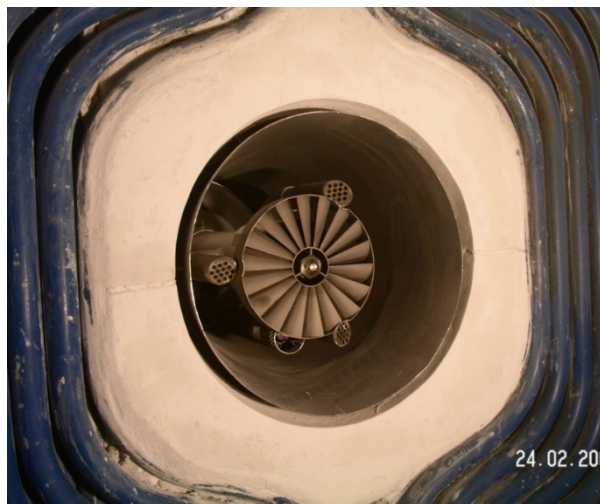
Наилучшие доступные технологии сжигания





# Предложения по амбразурам

Наилучшие доступные технологии сжигания



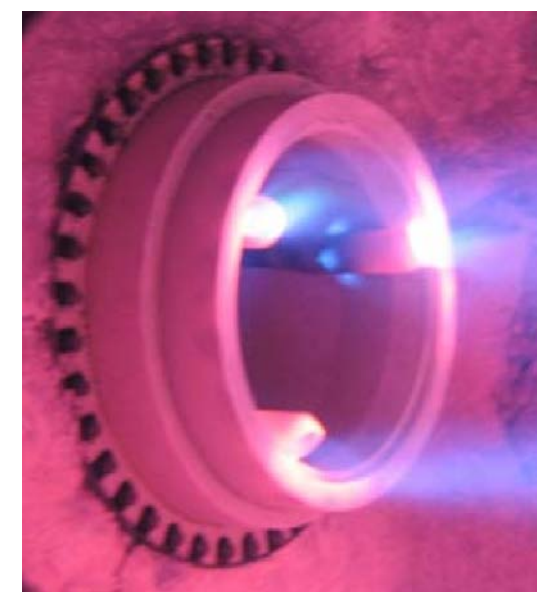


# Предложения по замене горелок

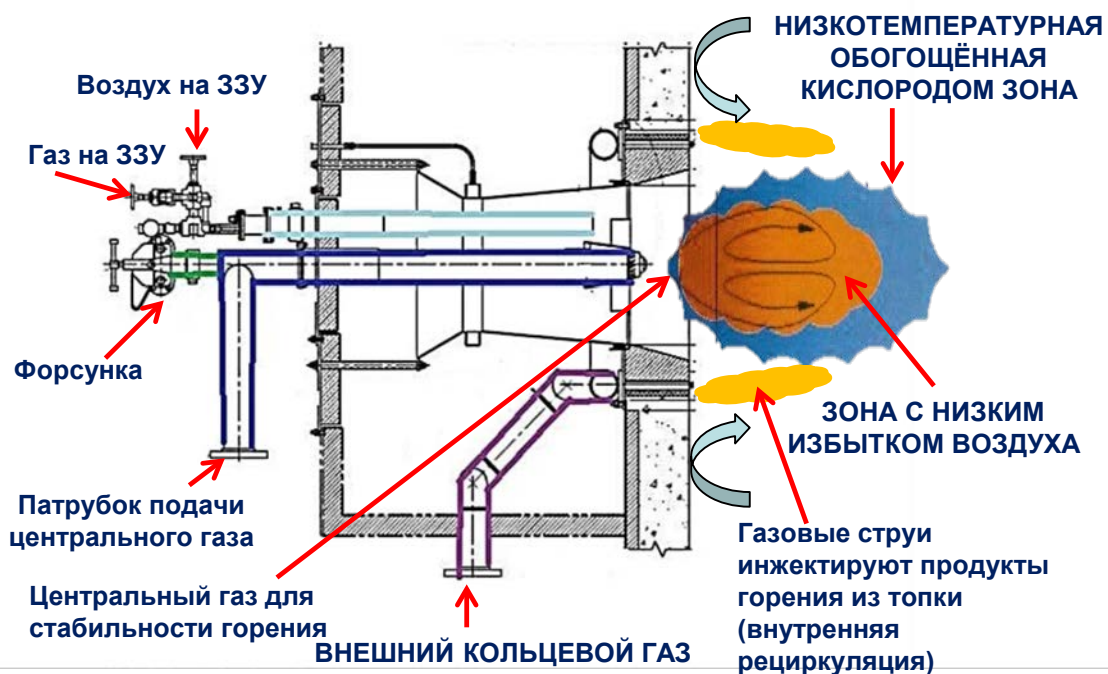
Наилучшие доступные технологии сжигания

Сравнительный анализ применения различных горелочных устройств говорит о том, что с точки зрения стоимости владения целесообразнее устанавливать горелки второго поколения, например, такие как Zeeco FreeJet

Основополагающий принцип способствующий снижению NOx для низкоэмиссионных горелок Zeeco FreeJet являются обеспечение смешения природного газа с инертными продуктами горения, которое происходит внутри топки в районе амбразуры специальной конструкции, газ подается через специальные сопла по внешнему периметру амбразуры.



## ZEECO FreeJet





# Горелки Zeeco для России

ЭКОГОР

Наилучшие доступные технологии сжигания

**ТАМОЖЕННЫЙ СОЮЗ**

**СЕРТИФИКАТ СООТВЕТСТВИЯ**

№ TC RU C-GB.A301.B.03244

Серия RU № **0443070**

**ОРГАН ПО СЕРТИФИКАЦИИ** Общество с ограниченной ответственностью «Альянс ЮГО-ЗАПАД». Место нахождения: 117461, Россия, город Москва, улица Каховка, дом 30, помещение 1, комната 13. Фактический адрес: 119049, Россия, город Москва, 1-й Добрынинский переулок, дом 15/7, помещение 27. Телефон: +7 (495) 268-13-26, факс: +7 (495) 268-13-26, адрес электронной почты: info@alliance-sw.ru. Аттестат аккредитации регистрационный № RA.RU.11A301 выдан 27.10.2015 года Федеральной службой по аккредитации

**ЗАЯВИТЕЛЬ** Общество с ограниченной ответственностью «ЭКОГОР». Основной государственный регистрационный номер: 1117746325696. Место нахождения: 115280, Российская Федерация, город Москва, улица Ленинская слобода, дом 23, строение 2. Фактический адрес: 115280, Российская Федерация, город Москва, улица Ленинская слобода, дом 23, строение 2. Телефон: 79031458861, факс: 79031458861, адрес электронной почты: Eeogor77@gmail.com

**ИЗГОТОВИТЕЛЬ** Zeeco Europe Ltd. Место нахождения: СОЕДИНЕННОЕ КОРОЛЕВСТВО, The Woolfox Building, Great North Road, Rutland, LE15 7QT. Фактический адрес: СОЕДИНЕННОЕ КОРОЛЕВСТВО, The Woolfox Building, Great North Road, Rutland, LE15 7QT. Филиалы изготовителя (смотри приложение - бланк № 0308571)

**ПРОДУКЦИЯ** Горелки газомазутные вихревые низкоэмиссионные, типов ZEECO GB, ZEECO FreeJet, модели (смотри приложение - бланк № 0308572). Продукция изготовлена в соответствии с Директивой 2006/42/ЕС. Серийный выпуск

КОД ТН ВЭД ТС 8416 20 200 0

СООТВЕТСТВУЕТ ТРЕБОВАНИЯМ Технического регламента Таможенного союза ТР ТС 010/2011 "О безопасности машин и оборудования"

**СЕРТИФИКАТ ВЫДАН НА ОСНОВАНИИ** протоколов испытаний №№ 16/07/01125, 16/07/01126 от 27.07.2016 года, выданного испытательной лабораторией "СМ-ТЕСТ", аттестат аккредитации регистрационный номер РОСС RU.0001.21MP23 действителен от 03.05.2011 года, срок действия - бесконечно; акта анализа состояния производства от 08.08.2016 года органа по сертификации продукции Общества с ограниченной ответственностью «Альянс Юго-Запад».

**ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ** Срок службы, срок и условия хранения указаны в эксплуатационной документации, приложенной к изделию.

**С**

**СРОК ДЕЙСТВИЯ** 22.08.2016 ПО 21.08.2019 **ВКЛЮЧИТЕЛЬНО**

Руководитель (уполномоченное лицо) органа по сертификации  
А.А. Звягин  
(инициалы, фамилия)

Эксперт (эксперт-аудитор) (эксперты (эксперты-аудиторы))  
Т.В. Медведкова  
(инициалы, фамилия)

Горелки Zeeco имеют сертификат соответствия Таможенного союза.

Преимущество применения горелок ZEECO FreeJet для проектов реконструкции котельных агрегатов с целью снижения выбросов оксидов азота состоит в следующем:

1. Применение на энергетических котлах горелок второго поколения Zeeco FreeJet позволяет без дополнительного применения первичных методов (ДРГ и Третичный воздух) получать выбросы оксидов азота на уровне 125 мг/м<sup>3</sup> при 6% O<sub>2</sub>.
2. Возможность достижения выбросов оксидов азота на уровне перспективных требований – 83 мг/м<sup>3</sup> при 6% O<sub>2</sub>, за счёт значительно более низкой доли применения первичных методов. На некоторых котлах без них, что положительно сказывается на КПД котла и работе поверхностей нагрева.



# Пример сравнительного анализа вариантов реконструкции

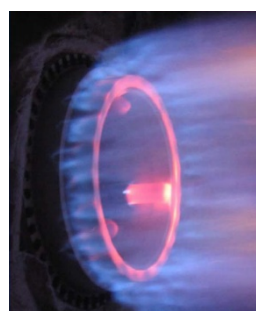
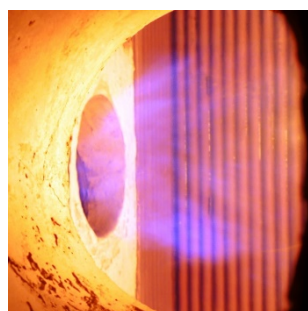
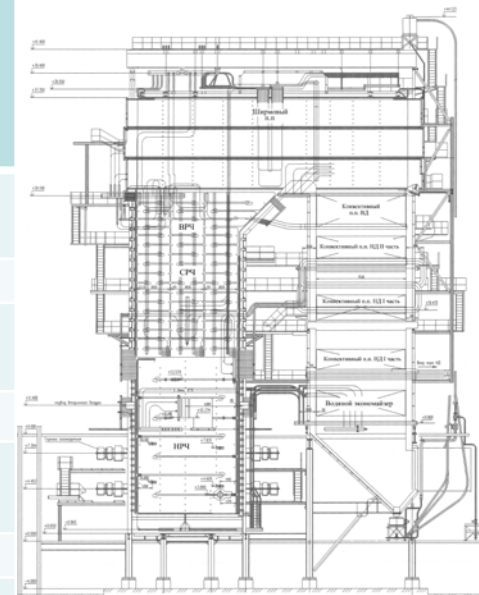
Наилучшие доступные технологии сжигания

Объём работ	Режимные методы	Режимные методы+ реконструкция сопел	Установка отдельного ДРГ	Горелка производителя «А»	Горелка производителя «Б»	Горелка производителя «В»	Горелка производителя «Г»	Горелка производителя «Д»
<b>Вариант</b>	0	1	2	3	4	5	6	7
<b>Всего кап. затраты тыс. руб.</b>	3 500	6 500	11 500	158 363	32 818	29 273	21 000	18 000
<b>Достижимые выбросы оксидов азота мг/м<sup>3</sup></b>	140	125	125	125	83	125	125	140
<b>Риски</b>	Не получить КЭР							Не получить КЭР
<b>Отклонение стоимость владения за 10 лет от базового варианта «0» (ничего не делать) тыс.руб.</b>	-30 000	-32 000	-72 000	-213 000	-12 000	-45 000	-37 000	-44 000

# Сравнительный анализ реконструкции котла ТГМП-314

Наилучшие доступные технологии сжигания

ТГМП 314 1000 т/ч	заводская компоновка 16 горелок 50 МВт ТКЗ-ВТИ-ХКБ	ГМПВ – 40	ГМВИ- III – 50	Zeeco FreeJet проект	Zeeco FreeJet проект
Выбросы оксидов азота мг/м3	<b>350</b>	<b>180</b>	<b>128</b>	<b>125</b>	<b>83</b>
Газы рециркуляции	5%	10%	18%	нет	7%
Ступенчатость по ярусам	нет	есть	есть	есть	есть
третичное дутье	нет	есть	есть	есть	есть
Удельные затраты эл. на тягу и дутье кВт*ч/т.пара	3,86	4,32	4,87	3,86	4,1
Избытки воздуха	1,05	1,05	1,08	1,05	1,05
Стоимость реконструкции с заменой горелок, т. руб.		50000	55000	70000	70000



Сравнительный анализ применения различных горелочных устройств говорит о том, что с точки зрения стоимости владения целесообразнее устанавливать горелки второго поколения, например, такие как Zeeco FreeJet

# Локализации производства в России

## Наилучшие доступные технологии сжигания

Компания Зеесо готова локализовать производство горелочных устройств в России. В настоящее время реализуется проект по установке горелок на котле Е-500 Юга России, корпуса горелок изготовлены в России, инженерное сопровождение проводит компания ООО «ЭКОГОР».

Наилучшие технологии сжигания включают новые подходы к организации проведения работ, что требует длительного времени поэтапного освоения технологии до уровня локализации 90%.

	Этап	Этап 2	Этап 3	Этап 4
<b>Состав выполняемых работ</b>	Изготовление корпуса горелки в России	Расширенный вариант 1	Локализация углубленная	СП более 150 горелочных устройств в год
<b>Расчёт горелки</b>	Инофирма	Инофирма	Инофирма	Инофирма
<b>Дизайн проект</b>	Инофирма	Инофирма	Инофирма	Инофирма
<b>Рабочий проект ГРУ</b>	Инофирма	Инофирма	Инофирма	Россия
<b>Инспекция изготовления амбразуры</b>	нет	нет	нет	Инофирма
<b>Изготовление амбразуры</b>	Инофирма	Инофирма	Инофирма	Россия
<b>Инспекция изготовления</b>	нет	нет	Инофирма	Инофирма
<b>Изготовление сложных элементов ГРУ</b>	Инофирма	Инофирма	Россия	Россия
<b>Инспекция изготовления</b>	нет	нет	Инофирма	Инофирма
<b>Сборка ГРУ</b>	Инофирма	Инофирма	Россия	Россия
<b>Инспекция изготовления</b>	нет	нет	Инофирма	Инофирма
<b>Изготовление простых элементов ГРУ</b>	Инофирма	Россия	Россия	Россия
<b>Инспекция моделирования</b>	нет	Инофирма	Инофирма	Инофирма
<b>Физическое моделирование</b>	Инофирма	Россия	Россия	Россия
<b>Рабочий проект Короба</b>	Россия	Россия	Россия	Россия
<b>Инспекция изготовления корпуса</b>	нет	Инофирма	Инофирма	Инофирма
<b>Изготовление корпуса</b>	Россия	Россия	Россия	Россия
<b>Инспекция сборки</b>	нет	Инофирма	Инофирма	Инофирма
<b>Сборка горелочного устройства</b>	Россия	Россия	Россия	Россия
<b>Обучение монтажу</b>	нет	Инофирма	Инофирма	Инофирма
<b>Шефмонтаж</b>	Инофирма	Инофирма	Россия	Россия
<b>Обучение наладке</b>	нет	Инофирма	Инофирма	Инофирма
<b>Шефналадка</b>	Инофирма	Инофирма	Россия	Россия
<b>% локализации</b>	10 %	50 %	70 %	90 %





# Проект Установки горелок Zeeco FreeJet в России

Наилучшие доступные технологии сжигания

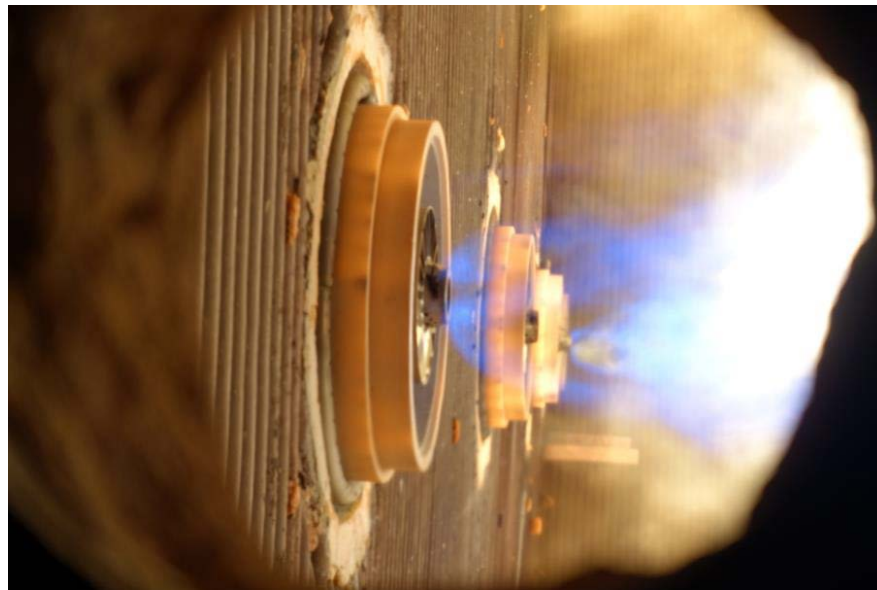
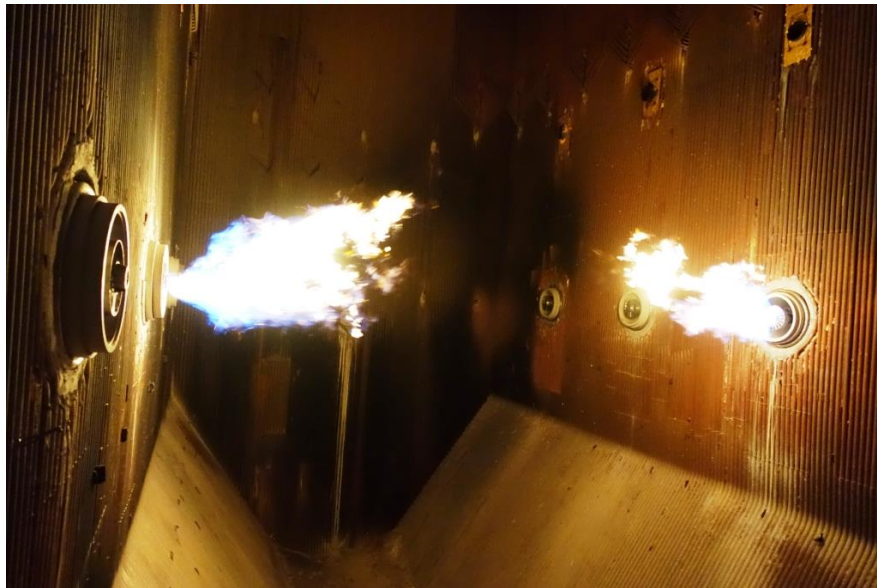
## Монтаж горелок на котле E-500 июль-август 2018 г





# Проект Установки горелок Zeeco FreeJet в России

Наилучшие доступные технологии сжигания





Наилучшие доступные технологии сжигания

Достигнутый результат выбросы оксидов азота составляют 18 мг/м<sup>3</sup> при 3%O<sub>2</sub>



VA Medical Center  
Boiler #3 (S-19)  
Natural Gas

TEST	1	2	3	AVERAGE	LIMITS
Test Location	Outlet	Outlet	Outlet		
Test Date	6/29/18	6/29/18	6/29/18		
Test Time	0731-0801	0818-0848	0903-0933		
Standard Temp., °F	70	70	70		
Boiler Rating, MMBtu/Hr	45	45	45		
LOAD, MMBtu/Hr	44.3	44.4	44.1	44.3	
Firing Rate, % Capacity	98%	99%	98%	98%	
Flow rate, DSCFM (M19)	8,360	8,299	8,345	8,335	
O <sub>2</sub> , %	4.8	4.6	4.8	4.7	
NO <sub>x</sub> , ppm	7.5	7.6	7.4	7.5	30
NO <sub>x</sub> , ppm (@ 3% O <sub>2</sub> )	8.3	8.3	8.2	8.3	
NO <sub>x</sub> , lbs/MMBtu	0.010	0.010	0.010	0.010	
NO <sub>x</sub> , lbs/hr	0.45	0.45	0.44	0.45	
CO, ppm	16.1	16.9	18.9	17.3	400
CO, ppm (@ 3% O <sub>2</sub> )	17.8	18.6	21.0	19.1	
CO, lbs/MMBtu	0.013	0.014	0.016	0.014	
CO, lbs/hr	0.58	0.61	0.69	0.63	



WHERE,

- NO<sub>x</sub> = Oxides of Nitrogen as NO<sub>2</sub> (MW = 46)
- CO = Carbon Monoxide (MW = 28)
- lbs/MMBtu = Pounds per Million Btu
- ppm = Parts Per Million Concentration
- lbs/hr = Pound Per Hour Emission Rate
- Fd = 8710 (EPA F Factor for Natural Gas)
- Tstd. = Standard Temp.; °R = °F+ 460

CALCULATIONS,

- 3% O<sub>2</sub> correction = ppm (NO<sub>x</sub>, CO) \* 17.9/(20.9 - %O<sub>2</sub>)
- lbs/hr =ppm \* 8.223 E-5 \* DSCFM \* MW of pollutant / Tstd. °R
- lbs/MMBtu = Fd \* MW \* ppm \* 2.59E-9 \* 20.9/(20.9 - %O<sub>2</sub>)



Наилучшие доступные технологии сжигания  
на следующие 20 лет уже сегодня

**Григорьев Дмитрий Рюрикович**

Генеральный директор  
к.т.н. 05.04.01

115280 Москва ул. Ленинская слобода 23 стр.2 Технопарк «ВТИ»

E-mail: [grigoryev@ecogor.ru](mailto:grigoryev@ecogor.ru), [info@ecogor.ru](mailto:info@ecogor.ru)

Телефон+74956435077

[www. Ecogor.ru](http://www.Ecogor.ru)