



Круглый стол «Актуальные проблемы защиты атмосферного воздуха при эксплуатации энергетических и промышленных предприятий»

Методы повышения экологической и экономической эффективности энергопредприятий

Современный уровень экологической эффективности газогорелочных устройств и возможность обеспечения выбросов оксидов азота соответствующего НДТ на котельных агрегатах России

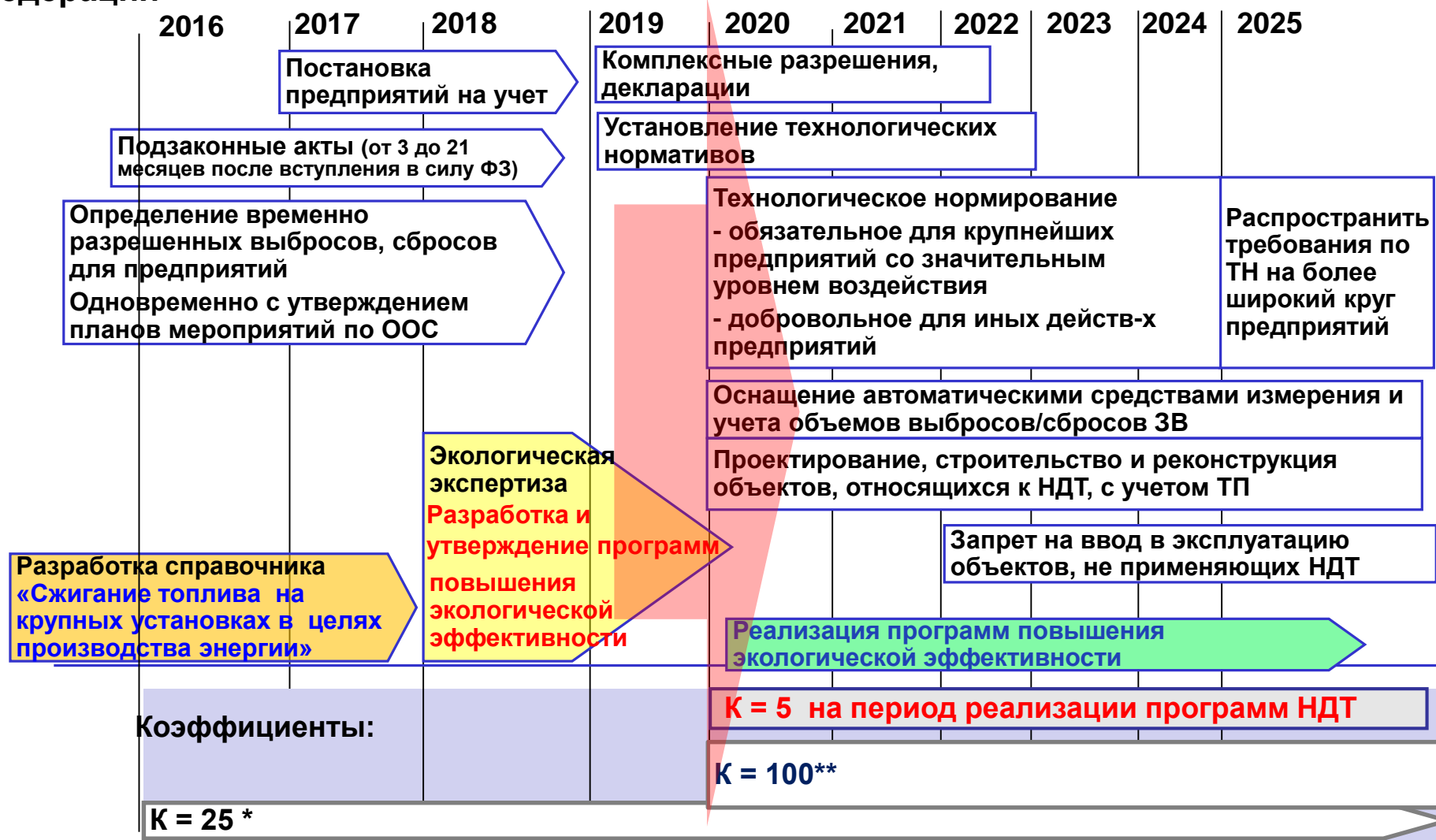
Григорьев Д.Р. ООО «ЭКОГОР»

Москва, 20 октября 2017 г.



Последовательность перехода на НДТ в соответствии

ФЗ РФ от 21 июля 2014 г. № 219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации»



- * K плате за выбросы, сбросы в пределах временно разрешенных выбросов, временно разрешенных сбросов
- ** K плате за выбросы, сбросы сверх разрешенных объемов или задекларированных при получении комплексного разрешения

2020 год - время НДТ – время новых горелочных устройств



➤ Действующие нормативы в ЕС и России ЭКОГОР

Предельные концентрации загрязняющих веществ (мг/м³), установленные Директивой 2010/75/ЕС и ГОСТ Р 50831-95 (для новых установок) при $\alpha = 1,4$

Вид топлива	Тепловая мощность установки, МВт _т	Твёрдые частицы		SO ₂		NO _x	
		ЕС	РФ	ЕС	РФ	ЕС	РФ
Твёрдое топливо	50-100	20	150-250*	400	1200-1400**	300 – каменный уголь 400 – бурый уголь	470 – каменный уголь ТШУ 640 – каменный уголь ЖШУ 300 – бурый уголь
	100-199	20	150-250*	200	1200-1400**	200	
	200-249	20	150-250*	200	950-1050**	200	
	250-300	20	150-250*	200	700-700**	200	
	>300	10	50-150*	150 200***	700	150 200 бурый уголь	350 – каменный уголь ТШУ 570 – каменный уголь ЖШУ 300 бурый уголь ТШУ
Жидкое топливо	50-100	17		292	1200-1400**	250	250
	100-199	17		167	1200-1400**	125	250
	200-249	17		167	950-1050**	125	250
	250-300	17		167	700-700**	125	250
	>300	8		125	700	83	250
Природный газ	50-100					83	125
	100-300					83	125
	>300					83	125

Примечания:

- * - линейное увеличение при изменении приведённого содержания золы $A_{пр}$ от 0,6 до 2,5 %·кг/МДж
- ** - для приведённого содержания серы $S_{пр} \leq 0,045$ %·кг/МДж и $S_{пр} > 0,045$ %·кг/МДж, соответственно
- *** - для котлов с циркулирующим кипящим слоем или для котлов с кипящим слоем под давлением



ГОСТ Р 54202-2010 Ресурсосбережение. Газообразные топлива. **Наилучшие доступные технологии сжигания**

3.1.1 наилучшая доступная технология; НДТ: Технологический процесс, технический метод, основанный на современных достижениях науки и техники, направленный на снижение негативного воздействия хозяйственной деятельности на окружающую среду и имеющий установленный срок практического применения с учетом экономических, технических, экологических и социальных факторов.

Таблица 7 - НДТ сокращения выбросов NO и CO для некоторых предприятий, где сжигают газообразное топливо

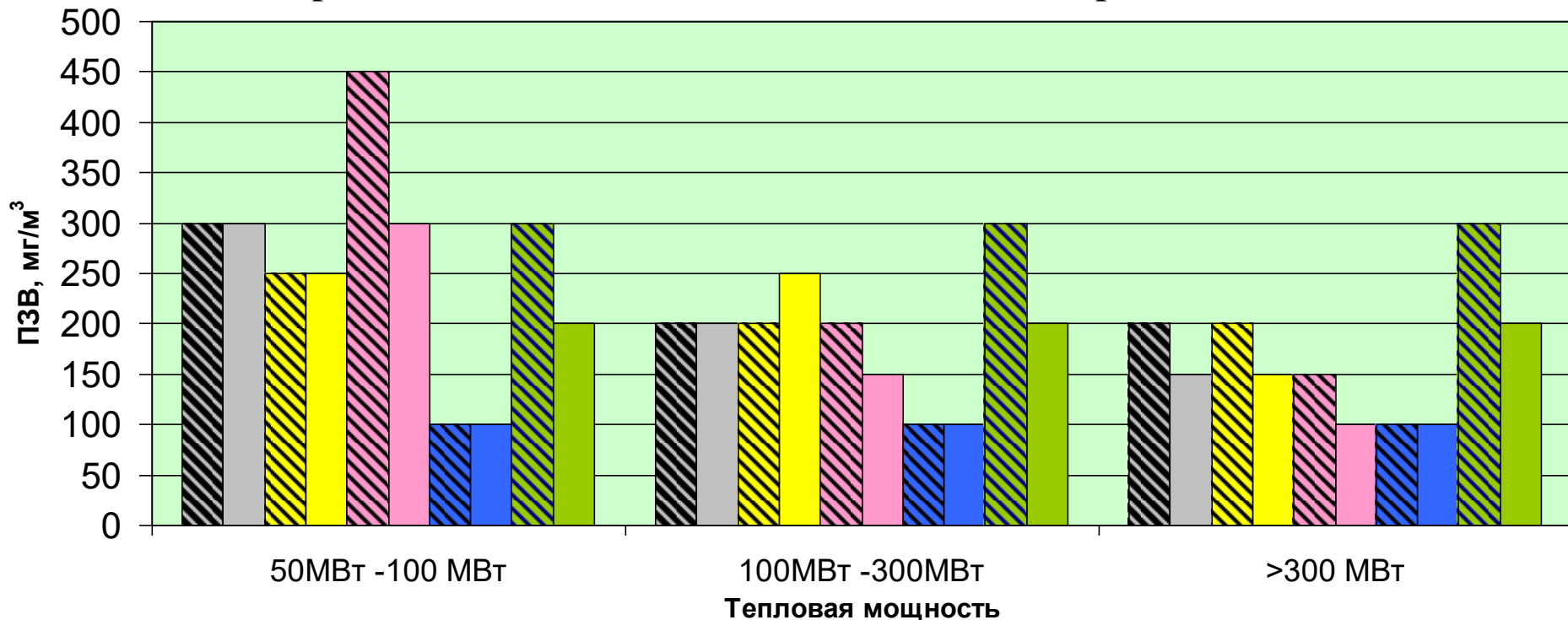
Тип установки	Уровни выбросов, соответствующие НДТ, мг/нм		Уровень O, об. %	НДТ достижения этих уровней	Производственный контроль
	NO	CO			
Газовые котлы					
Проектируемые газовые котлы	50-100	30-100	3	Малотоксичная горелка (горелка с низким выходом NO) или СКВ, или СНКВ	Непрерывный
Действующие газовые котлы	50-100	30-100	3	Малотоксичная горелка (горелка с низким выходом NO) или СКВ, или СНКВ	Непрерывный



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

Технические приложения к Гётеборгскому протоколу

Сорок девятая сессия, Женева, 12 – 16 сентября 2011 года



■ 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)

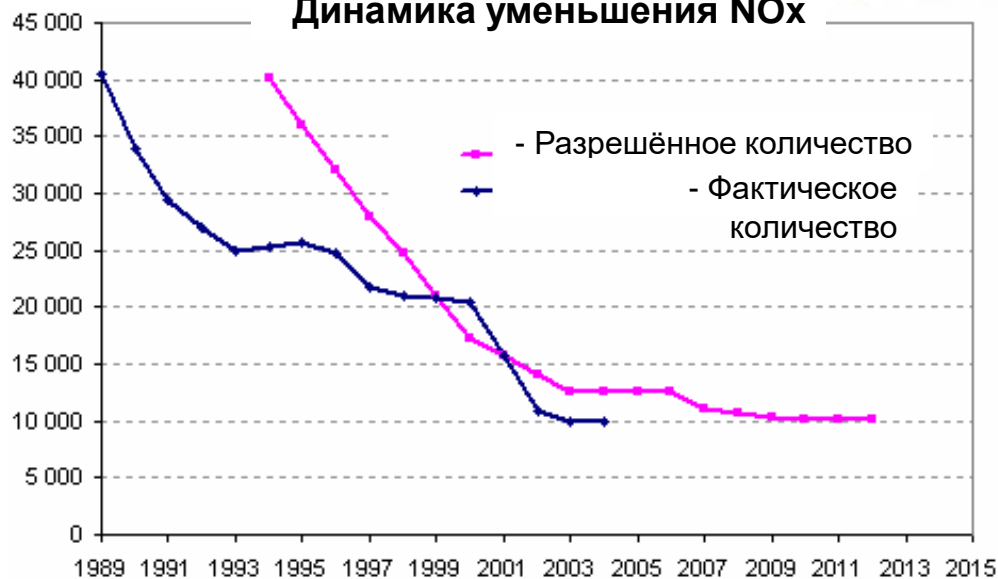
■ Природный газ (новые установки)

■ Другие виды газообразного топлива (существующие установки)

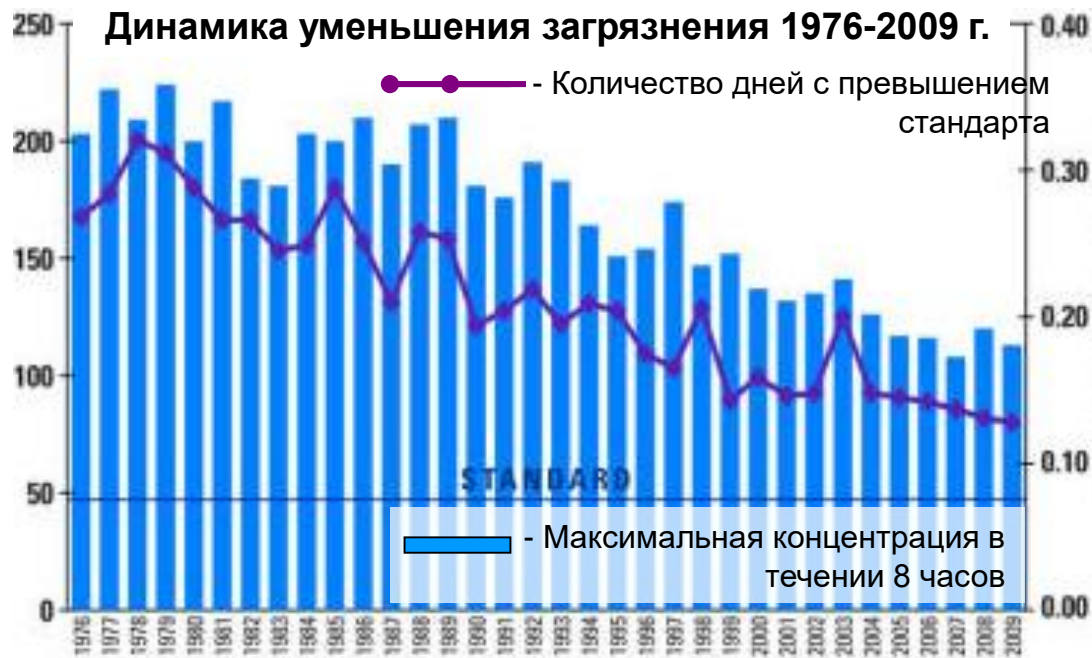
■ Другие виды газообразного топлива (новые установки)

Наилучшие доступные технологии сжигания

Динамика уменьшения NOx

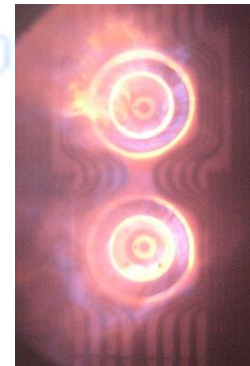
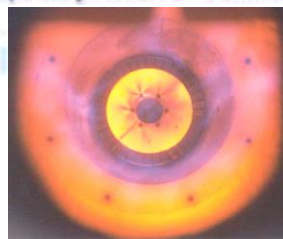
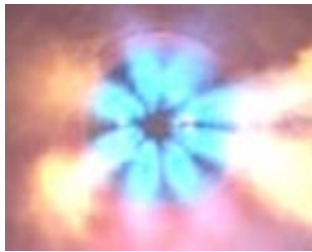


Динамика уменьшения загрязнения 1976-2009 г.



Технологическое обеспечение законодательных инициатив в США

Наилучшие доступные технологии сжигания



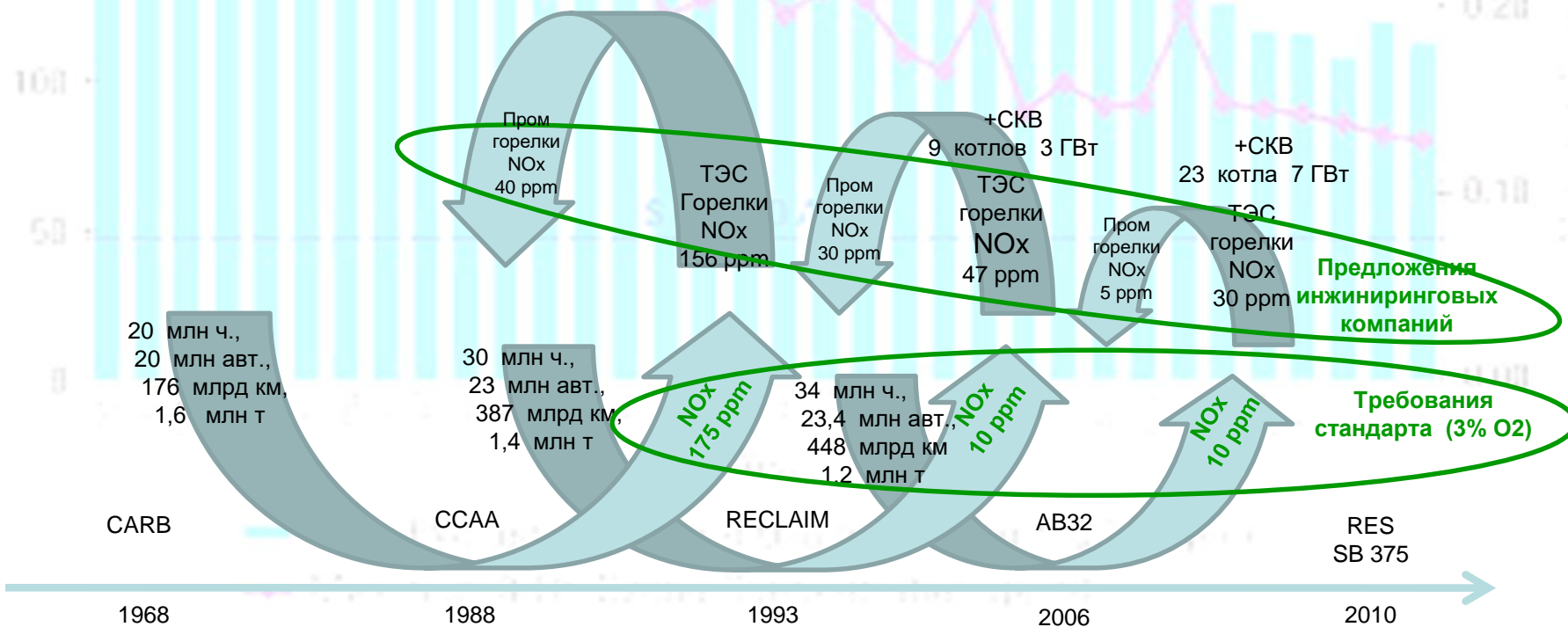
Первое (1-е) поколение горелок.
Достижимый уровень NOx - 100 мг/м³
Внутрифакельная ступенчатость по воздуху

Второе (2-е) поколение горелок.
Достижимый уровень NOx - 80 мг/м³
Внутрифакельная ступенчатость по воздуху и по топливу

Третье (3-е) поколение горелок.
Достижимый уровень NOx - 60 мг/м³

Четвёртое (4-е) поколение горелок.
Достижимый уровень NOx - 20 мг/м³
Организация быстрого смешения

Пятое (5-е) поколение горелок.
Достижимый уровень NOx - 10 мг/м³





ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

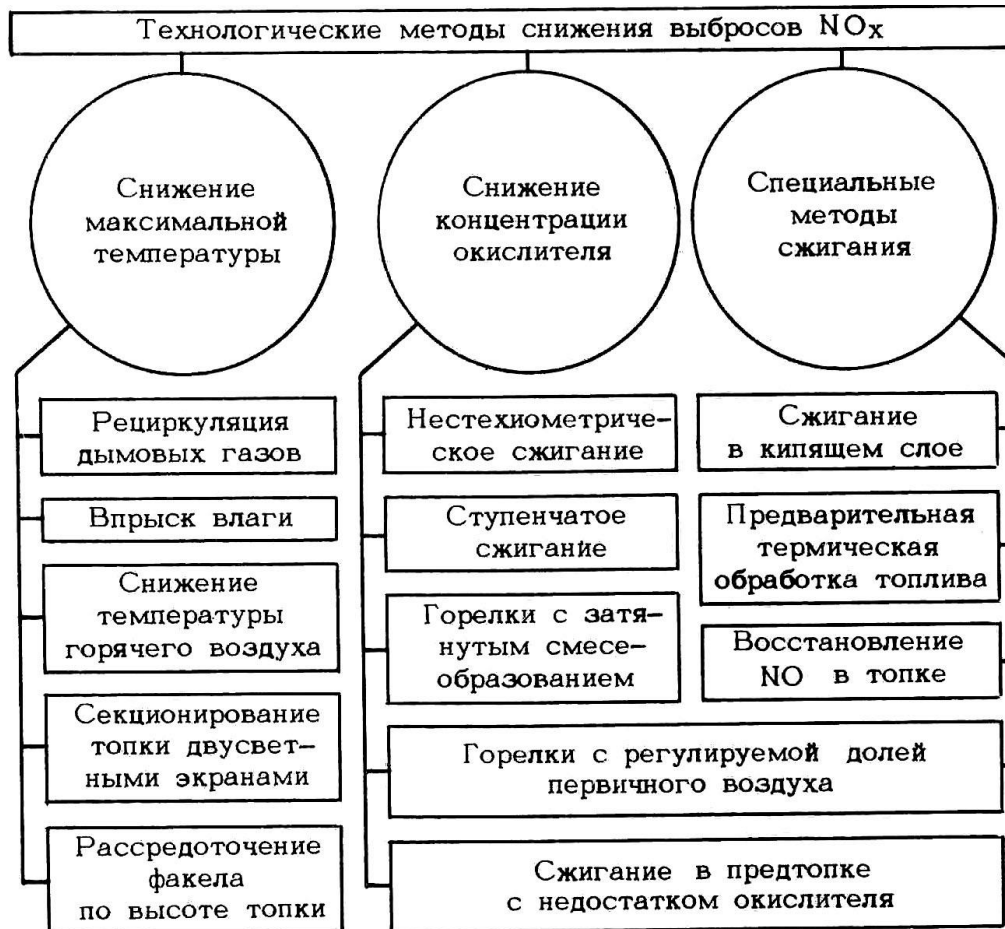
	ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СПРАВОЧНИК ПО НАИЛУЧШИМ ДОСТУПНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ	ИТС
--	-------------------------------------------------------------------------	-----

СЖИГАНИЕ ТОПЛИВА НА КРУПНЫХ УСТАНОВКАХ В ЦЕЛЯХ ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГИИ

(ИТС НДТ КТЭУ)

287

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



В.4 НДТ снижения выбросов NOx при сжигании газообразного топлива

НДТ снижения выбросов NOx при сжигании газообразного топлива.

Возможно применение одной или нескольких из перечисленных технологий:

НДТ 3.1 Режимно-наладочные методы:

- НДТ 3.1.1 Контролируемое снижение избытка воздуха.
- НДТ 3.1.2 Нестехиометрическое сжигание.
- НДТ 3.1.3 Двухступенчатое сжигание без реконструкции котла.

НДТ 3.2 Технологические методы, требующие изменения конструкции котла:

- НДТ 3.2.1 Двухступенчатое сжигание с реконструкцией котла
- НДТ 3.2.2 Малотоксичная горелка
- НДТ 3.2.3 Рециркуляция дымовых газов



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 сжигание топлива;**
- **Организация рециркуляции дымовых газов в смеси с основным воздухом;**
- **Организация равномерности распределения воздуха по горелкам и по сечению горелки**
- **Точнопрофилированная амбразура горелки**

Состав проекта реконструкции:

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

События

1976 Был образовано Региональное Управление Южного побережья по контролю за качеством воздуха. Она включала части Лос-Анджелес, Орандж, Риверсайд и Сан-Бернардино округов.

Все котловые и горелочные компании используют оригинальные типовые горелки полного смешения с выделением максимальной температуры в начале факела и являющимися высокоэффективными «генераторами окислов азота» примерно на уровне 125 -150 ppm (250-300 мг/м³).

Инжиниринговые компании и котельные заводы участники управления качеством воздуха

Оригинальные типовые горелки «генератор окислов азота»

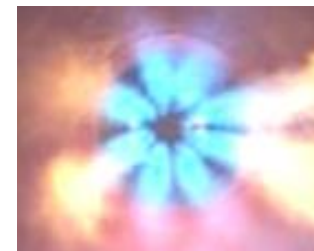




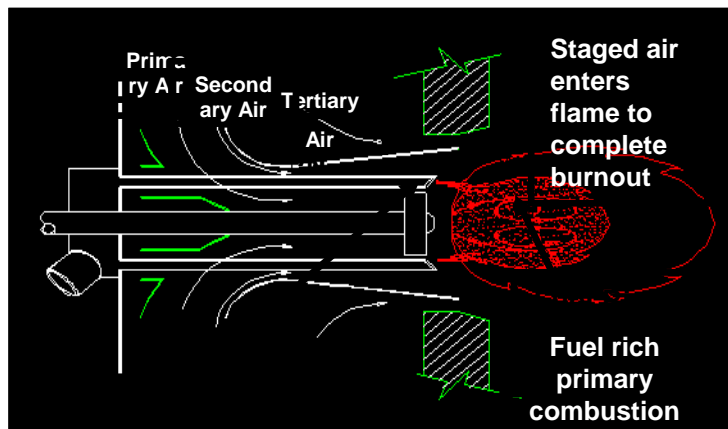
События

1977 Был приняты поправки к Федеральному Закону о чистом воздухе которые требовали обязательный анализ всех Национальных стандартов качества окружающего воздуха к 1980 году .

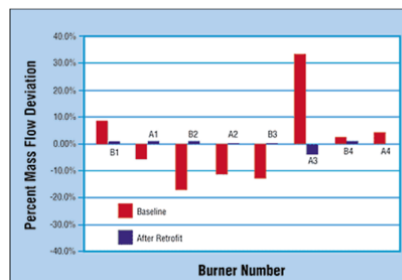
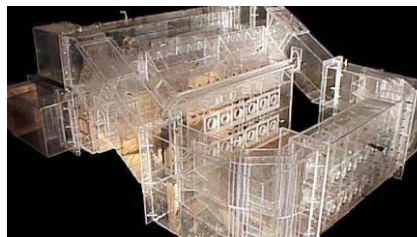
Первое (1-е) поколение горелок **(1987г.)** с низкими окислами азота достигающего уровня в 60 ppm (120 мг/м³). Горелки сконструированы на принципе воздушно ступенчатого сжигания. Уровень окислов азота снижался до 40 ppm (80 мг/м³) при небольшом % подмешивания РДГ.



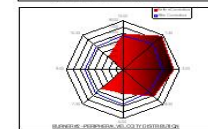
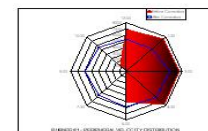
DYNASWIRL-LN™



Широкое применение методов холодного физического моделирования



Airflow imbalance = flame imbalance



События

	SCAQMD приняла свою Региональную Рыночную программу о чистом воздухе (RECLAIM) для снижения NOx и SOx.
1994	Суд США обязал USEPA разработать федеральный план осуществления (FIP) снижения уровня озона, в многочисленных загрязненных районах Калифорнии.

Второе (2-е) поколение горелок **(1993 г)** с низкими окислами азота достигающего уровня в 40 ppm (80 мг/м³). Горелки сконструированы на принципе топливо ступенчатом сжигании с небольшим % подмешивания РДГ.

VARIFLAME II™



Zeeco Free-Jet Burner

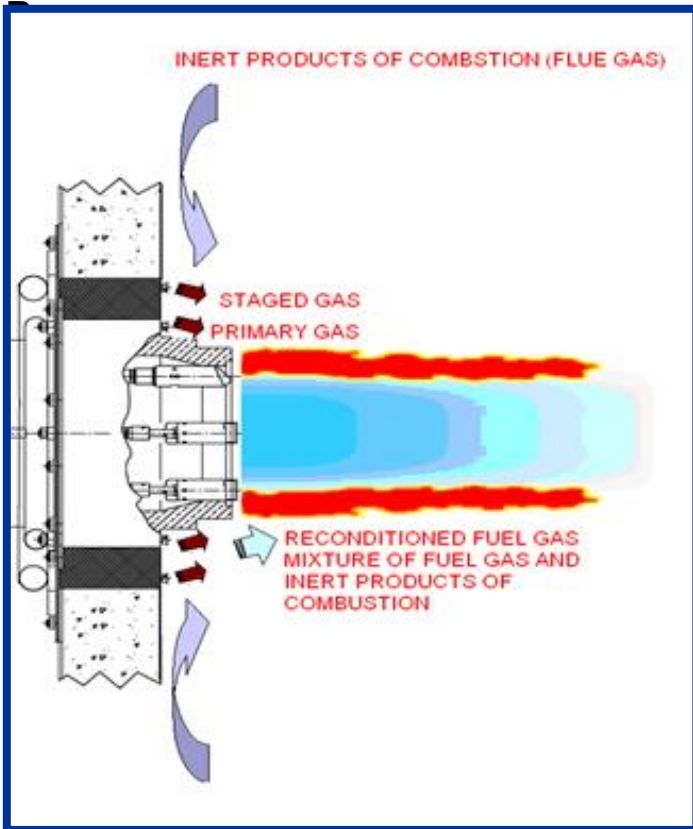


Принцип работы горелки FreeJet

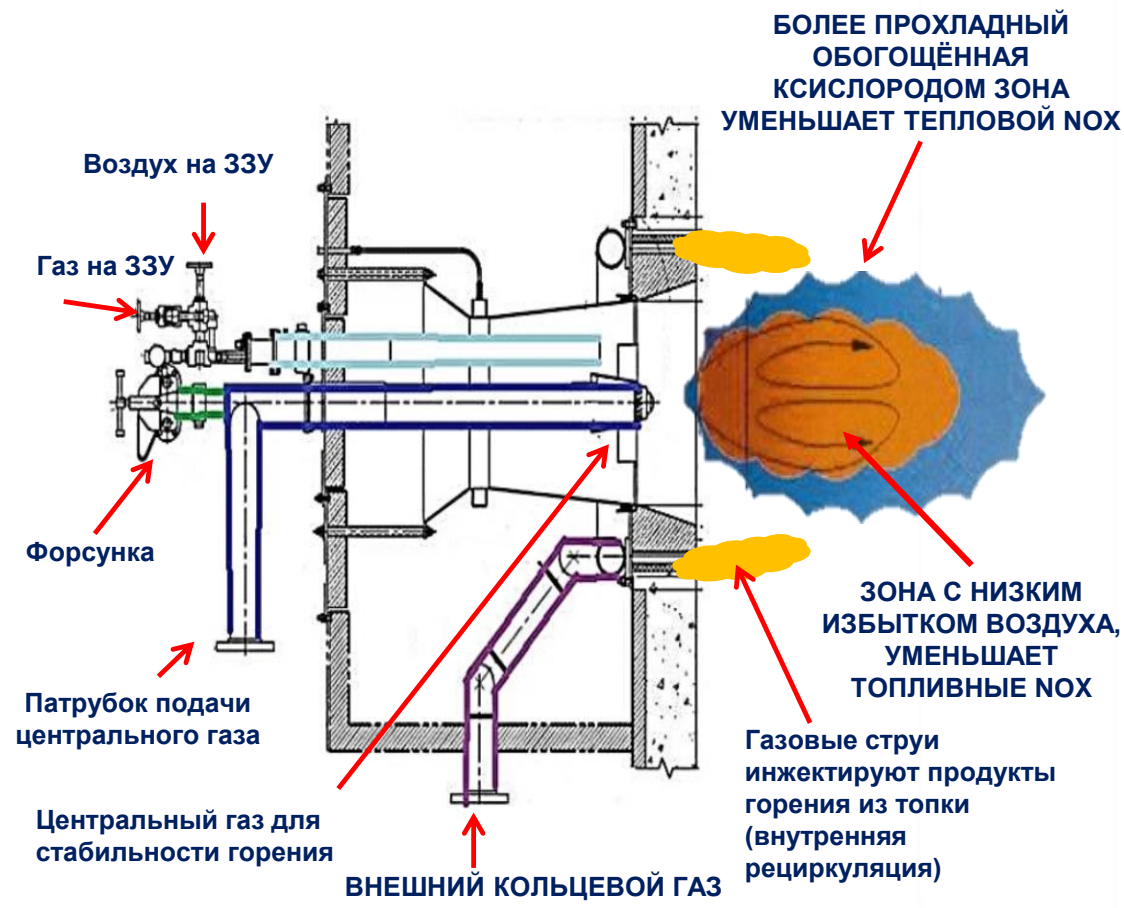
Наилучшие доступные технологии сжигания

Основополагающий принцип способствующий снижению NOx для низкоэмиссионных горелок Zeeco FREE-JET 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.

Стабильность горения обеспечивается раскалённой амбразурой. Центральный канал горелки выполнен в виде трубы



ZEECO FreeJet





3-е поколение горелок Сжигание с предварительным смешением

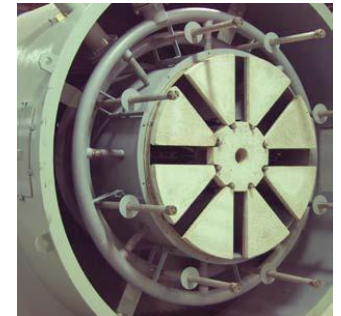
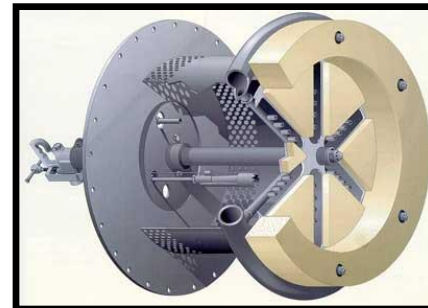
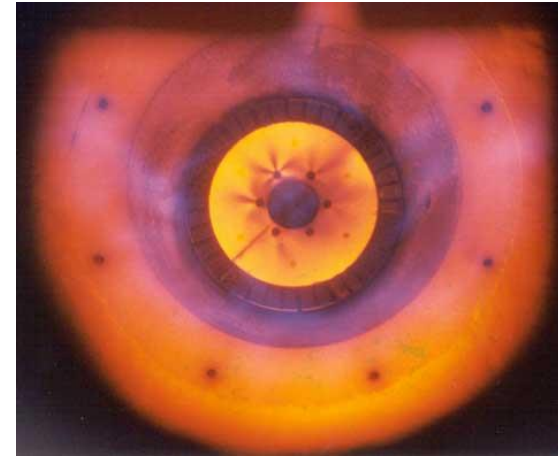
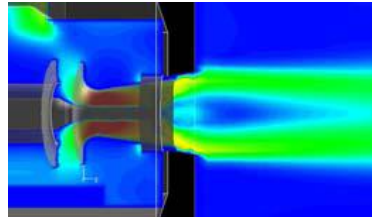
Наилучшие доступные технологии сжигания

События

1996	В районе Южного Побережья (SCAQMD) достигнута максимальная концентрация озона в течении 1 часа не выше 0,24 ppм. Это улучшение на 59% по сравнению с 1965 годом. Превышение опасного уровня «Смог Оповещения» (0,20 ppм озона) было только 7 дней в этом году. Это улучшение, снижение озона на 94% по сравнению с 1975 года когда превышение происходило в течении 118 дней.
	Калифорнийский Штатный План Осуществления (SIP) снижения уровня озона был утвержден USEPA 26 сентября 1996 года.

Третье (3-е) поколение горелок (1998 г) с низкими окислами азота достигающего уровня в 30 ppм (60 мг/нм3). Сжигание происходит при *предварительном смешении* без участия РДГ.

Широкое применение методов математического моделирования



4-ое поколение горелок Сжигание при очень быстром смешении

События

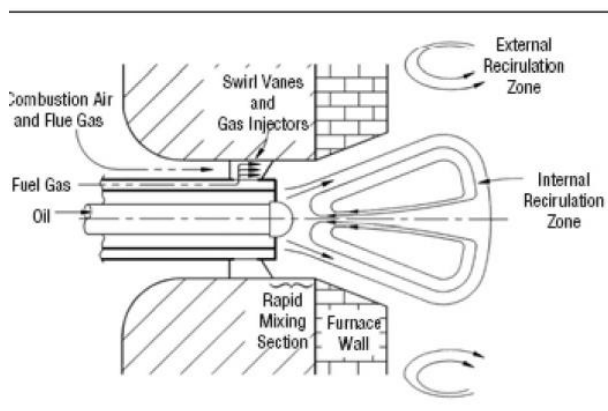
Наилучшие доступные технологии сжигания

2006	AB 32 подписан. Калифорнийский Закон о Решении Глобального Потеплении устанавливает первую в мире комплексную программу регулирования и рыночных механизмов для достижения реальных, поддающихся количественной оценке, экономически эффективного сокращения выбросов парниковых газов (ПГ). Этот закон обязывает АРБ отвечать за контроль и сокращение выбросов парниковых газов.
2007	АРБ приняло новый уровень выбросов парниковых газов с учетом ограничения уровня 1990 года, согласно (AB32) Закона о Глобальном Потеплении - примерно 25-процентное сокращение к 2020 году.
	АРБ принял более строгие стандарты для двуокиси азота (NO ₂). 1-часовой средний стандартный уровень для NO ₂ был снижен с 0,25 до 0,18 ppm. Новый ежегодный средний штатный стандарт был установлен для NO ₂ на уровне в 0,030 ppm.

Четвертое (4-е) поколение горелок (2003 г) с низкими окислами азота достигающего уровня в 10 ppm (20 мг/м³). Сжигание происходит при очень быстром смешении с участием РДГ.



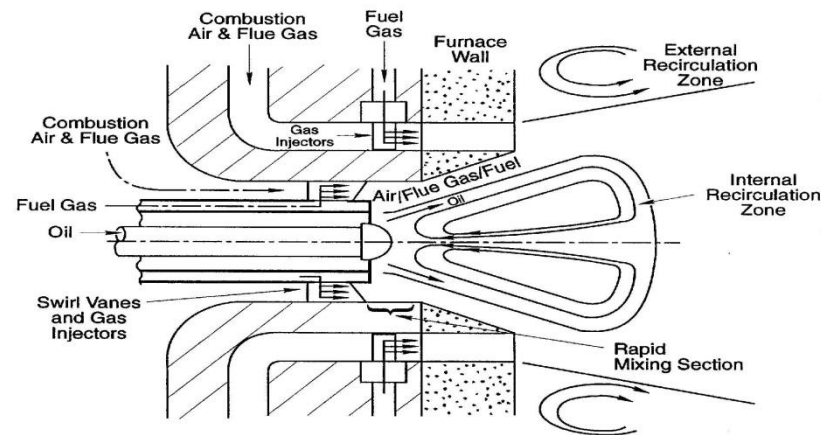
RMB™ Rapid Mix Burner





C-RMB™ Cell-Rapid Mix Burner

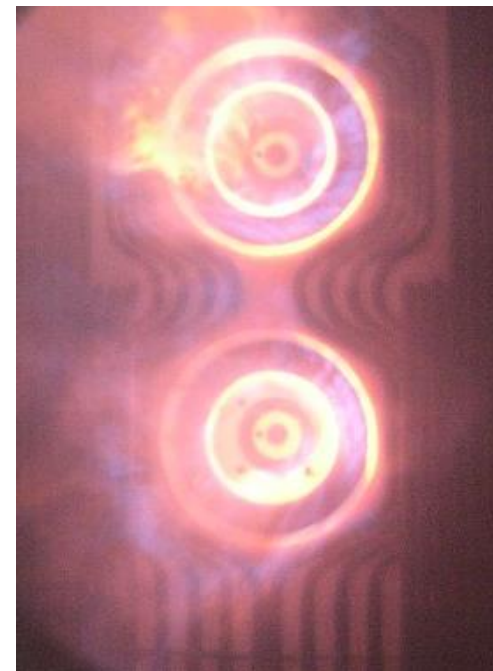
Пятое (5-е) поколение горелок с низкими окислами азота достигающего уровня в 5 ppm (10 мг/м³). Сжигание происходит при очень быстром смешении с участием РДГ через две ячейки-амбразуры



Паровой котёл 120 million Btu/hr = 35 МВт

BOILER 1				
	33% BOILER LOAD	55% BOILER LOAD	76% BOILER LOAD	99% BOILER LOAD
STACK O ₂	5.7%	4.4%	5.8%	4.8%
FGR RATE	41%	44%	40%	43%
NOx	4.1ppm	3.5ppm	3.5ppm	4.4ppm
CO	32ppm	27ppm	46ppm	20ppm
BOILER 2				
	33% BOILER LOAD	55% BOILER LOAD	76% BOILER LOAD	99% BOILER LOAD
STACK O ₂	5.6%	5.1%	4.9%	4.9%
FGR RATE	44%	41%	40%	40%
NOx	4.6ppm	3.6ppm	4.7ppm	4.7ppm
CO	40ppm	42ppm	38ppm	42ppm

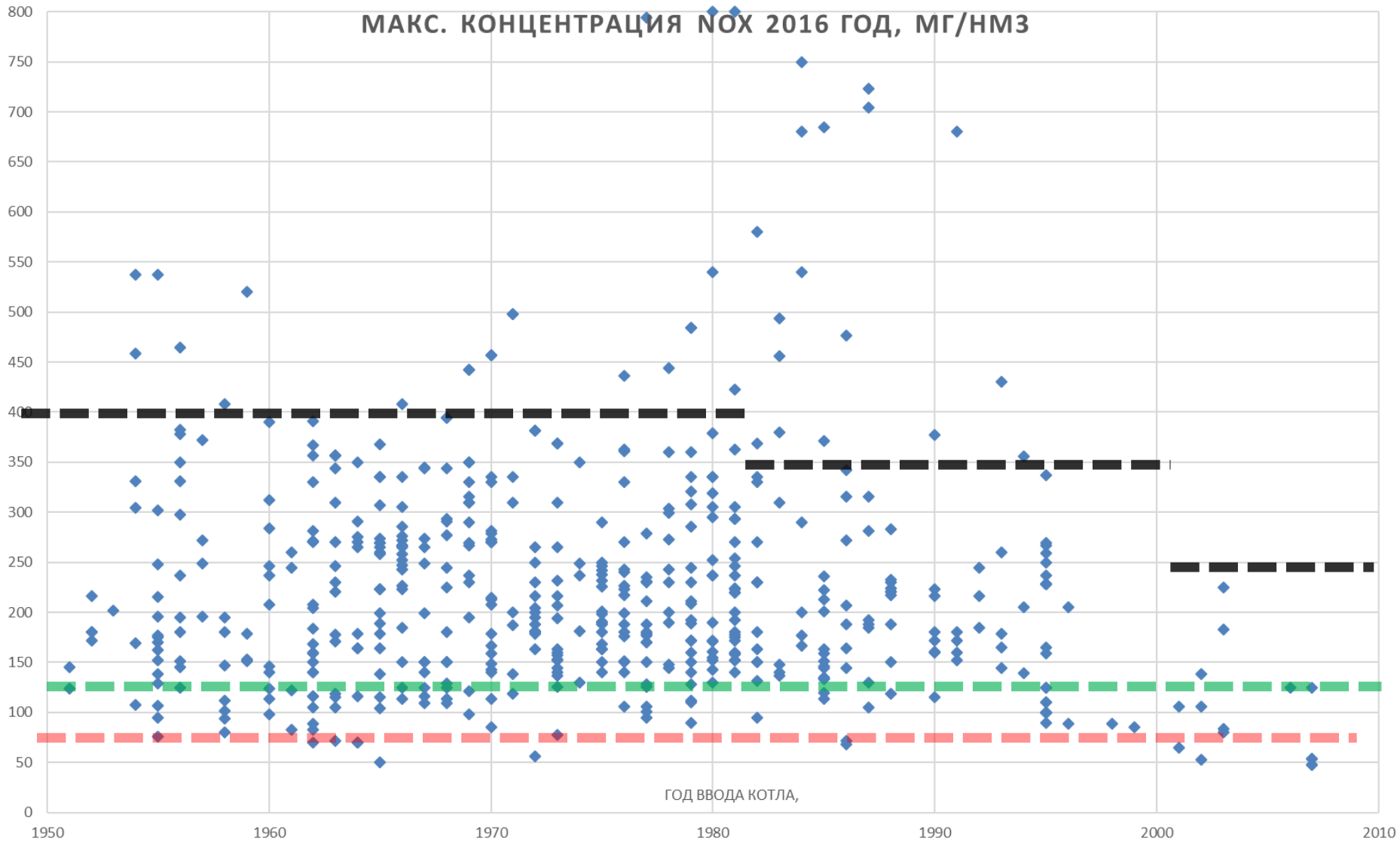
Figure 1
Radian Rapid-Mix Burner, Operating Principle



выбросы NOx котлов России при сжигании газа

Наилучшие доступные технологии сжигания

МАКС. КОНЦЕНТРАЦИЯ NOx 2016 ГОД, МГ/НМЗ



Гётеборгский протокол



ГОСТ 50831-95



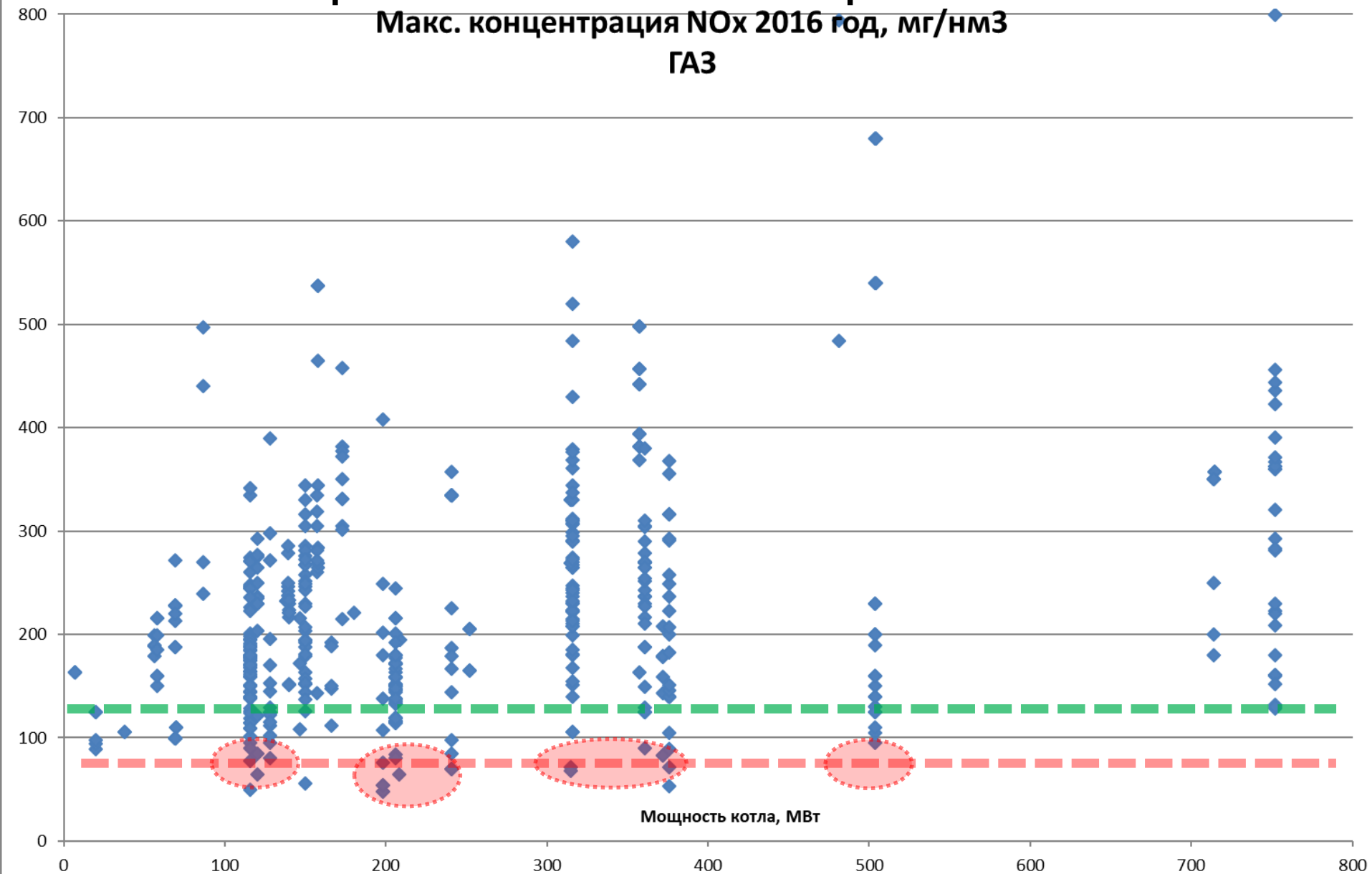
Проект НДТ (ИТС-38) 18



выбросы NOx котлов России при сжигании газа

Макс. концентрация NOx 2016 год, мг/м³

ГАЗ



Гётеборгский протокол

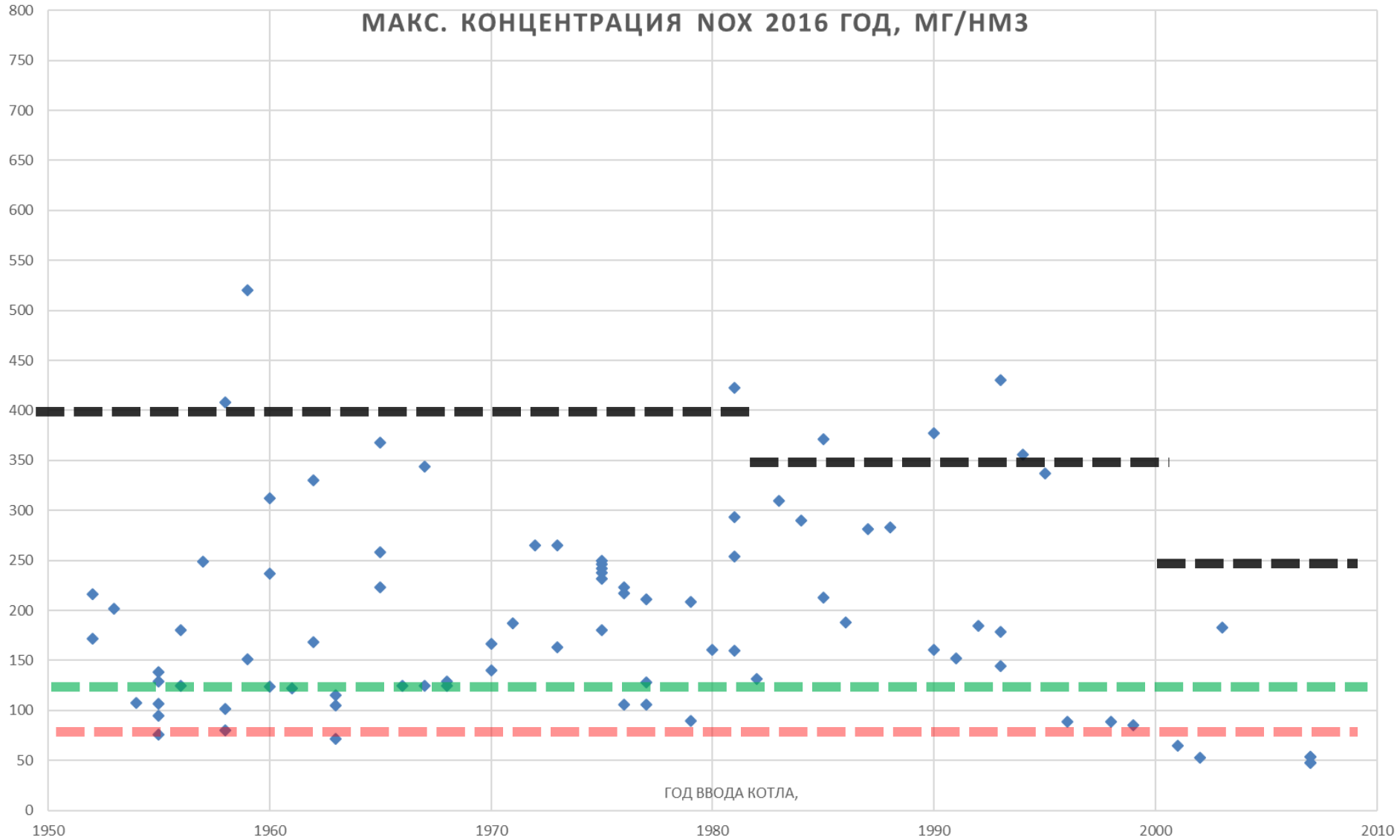
ГОСТ 50831-95



выбросы NOx котлов Генерирующей компании при сжигании газа

Наилучшие доступные технологии сжигания

МАКС. КОНЦЕНТРАЦИЯ NOx 2016 ГОД, МГ/НМ3



Гётеборгский протокол



ГОСТ 50831-95

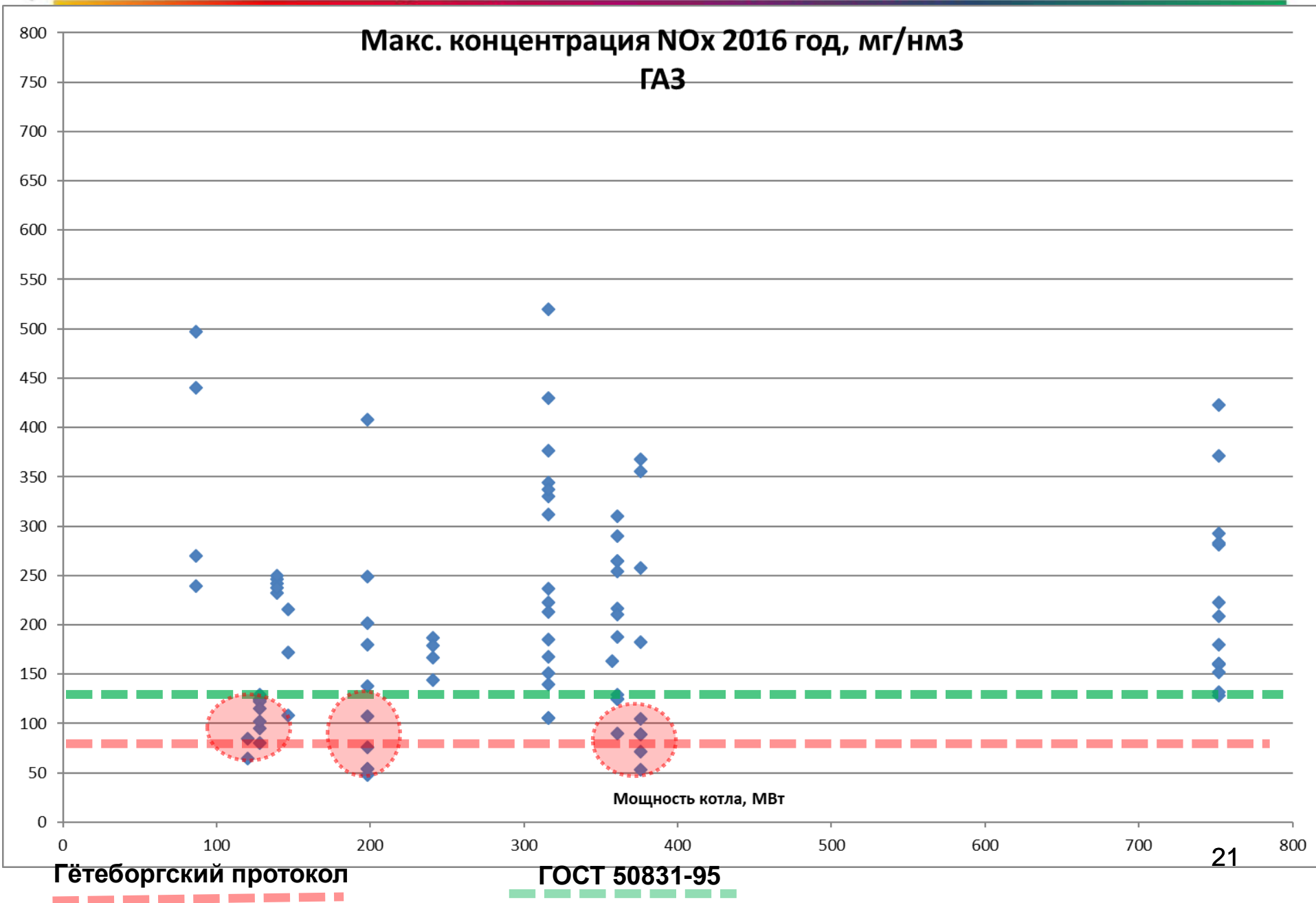


Проект НДТ (ИТС-38) 20





выбросы NOx котлов Генерирующей компании при сжигании газа



Горелки применяемые в Генерирующей компании

Наилучшие доступные технологии сжигания

	Другие до 90г.	ТКЗ (ОСТ-ие горелки до 90 г.)	ГМУ, ГМУм (НПО ЦКТИ)	Горелки БКЗ	Экспериментальные	ГМПВ	ГМВИ (ВТИ, ТКЗ, ЗИО, и др.)
	27%	19%	8%	2%	12%	19%	13%
Минимальный достигнутый уровень NOx при 6% O2 мг/м3	200	140	150	150	100	90	85
Средний уровень NOx при 6% O2 мг/м3	350	250	350	300	300	150	150

Сравнительные анализ горелочных устройств

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	350	180	128	125	83
Газы рециркуляции	5%	10%	18%	нет	7%
Ступенчатость по ярусам	нет	есть	есть	есть	есть
третичное дутье	нет	есть	есть	есть	есть
Темп на выходе из топки		910	873		
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 комплекта горелок, т. руб.		25000	29000	45000	45000

Варианты локализации производства

Наилучшие доступные технологии сжигания

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



Наилучшие доступные технологии сжигания

Григорьев Дмитрий Рюрикович

Генеральный директор

к.т.н. 05.04.01

115280 Москва ул. Ленинская слобода 23 стр.2

E-mail: ecogor77@gmail.com Моб./телефон+79031458861

ООО «ЭКОГОР»