

# Принципы горелок для установок производства серы

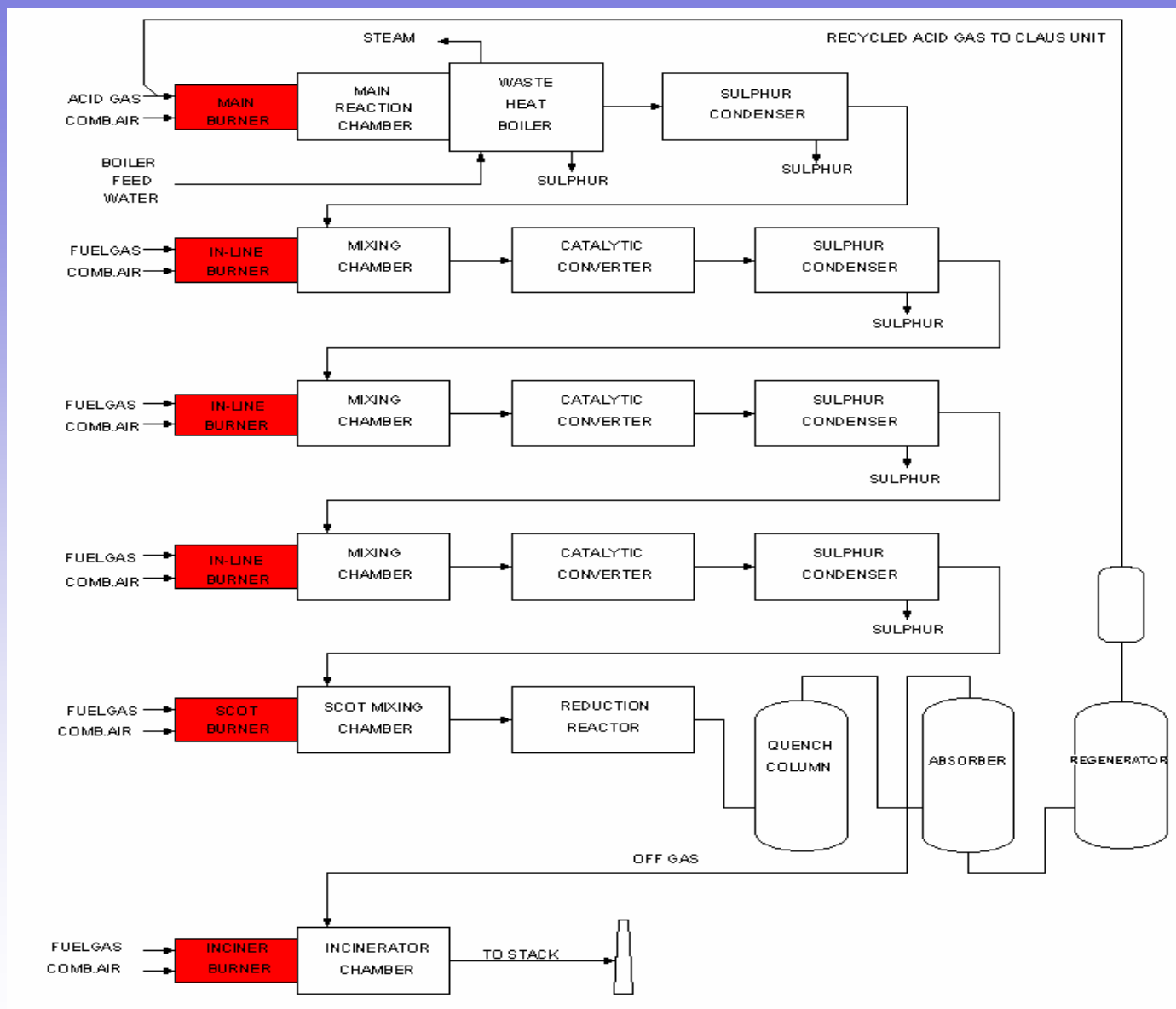


Harrie Vermeulen

## Поставляемое оборудование компании Duiker

- **Топочное оборудование для установок производства серы**
- **Термические печи-дожиг (инсинераторы)**
- **Горелки процесса газификации**
- **Горелки, работающие на жидком топливе с низким содержанием NOx, и/или газовые горелки**
- **Прямые воздушные подогреватели**
- **Обследование и детальный инжиниринг систем горения**
- **Услуги, оказываемые на площадке и обучение персонала**
- **Лицензионный поставщик для установок Scot, Core, горелок**

# Горелки для модифицированного процесса Клауса



## **Горелки для модифицированного процесса Клауса**

**Acid gas – кислый газ**  
**Comb.air – воздух горения**  
**Fuel gas – топливный газ**  
**Boiler feed water – котловая питательная вода**  
**Steam – пар**  
**Sulphur – сера**  
**Off gas – отходящий газ**  
**Main burner – главная горелка**  
**In-line burner – линейная горелка**  
**Scot burner – горелка Scot**  
**Inciner. burner – горелка печи-дожиг**  
**Main reaction chamber – реакционная камера**  
**Mixing chamber – камера смешения**  
**Scot mixing chamber – камера смешения Scot**  
**Incinerator chamber – камера печи-дожиг**  
**Waste heat boiler – котел-утилизатор**  
**Catalytic converter – каталитический конвертер**  
**Reduction reactor – восстановительный реактор**  
**Sulphur condenser – конденсатор серы**  
**Quench column – колонна охлаждения**  
**Absorber – абсорбер**  
**Regenerator – регенератор**  
**To stack – в дымовую трубу**



## Что Вы ожидаете от горелок?

- **Разрушение примесей**
- **Нет проскока кислорода**
- **Высокая температура пламени**
- **Безопасная, гибкая и надежная работа:**
  - **стабильное пламя**
  - **надежная конструкция**
  - **рабочий диапазон регулирования**
  - **розжиг и система защиты от погасания пламени**

# Принципы конструкции

Для хорошего сжигания нам необходимы  
(все из):

**3 Т- принципов сжигания:**

- завихрение (смещение)**
- температура**
- время контакта**

# Смешение

## Показатели хорошего смешения:

- Геометрия горелки
  - ✓ Ограничители, завихряющее устройство, скорости и т.д.
- Перепад давления
  - ✓ Высокий уровень подвода энергии
- Эксплуатационные замеры
  - ✓ Сравнение разных моделей горелок

# Принцип горелок LMV (завихритель Luynet)

воздушный конфузор

воздух горения



регистр

ТОПЛИВНЫЙ  
газ

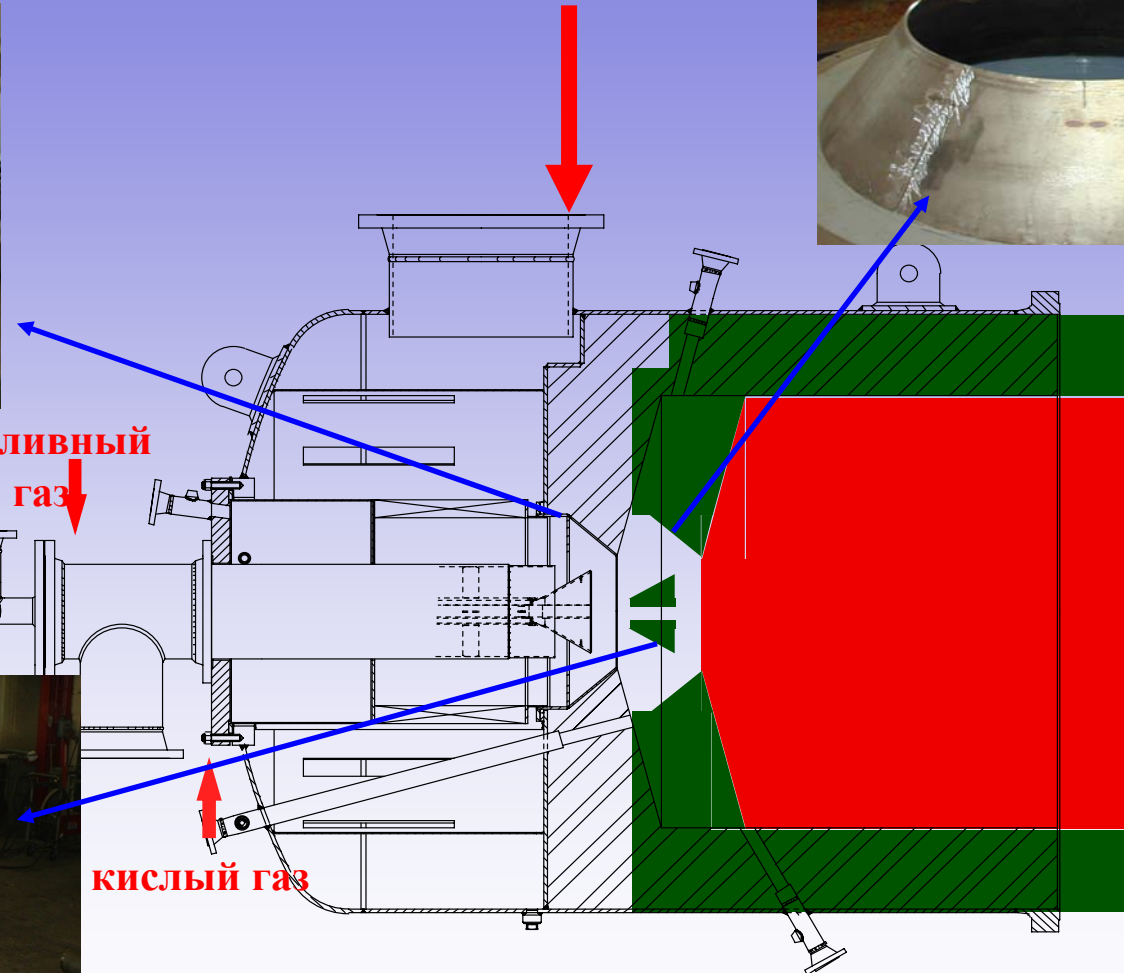
пилотная горелка или  
запальное устройство



инжектор топливного /

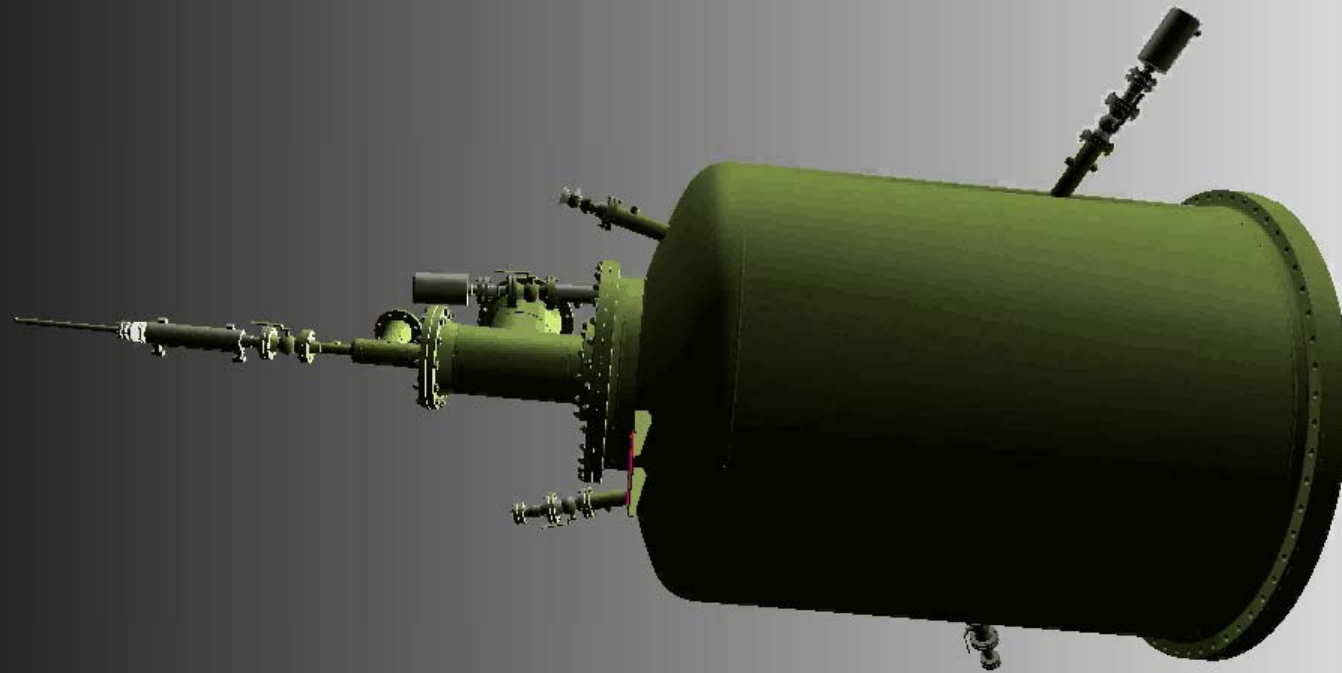
кислородного газа

КИСЛОРОДНЫЙ ГАЗ



По всем вопросам обращайтесь в наш офис ООО "ТИ-Системс":  
Тел/факс: (495) 7774788, 5007154,55, 65, 7489626, 7489127, 28, 29

Эл. почта: [info@tisis.ru](mailto:info@tisis.ru) Интернет: [www.tisis.ru](http://www.tisis.ru) [www.tisis.kz](http://www.tisis.kz) [www.tisis.by](http://www.tisis.by) [www.tesec.ru](http://www.tesec.ru)

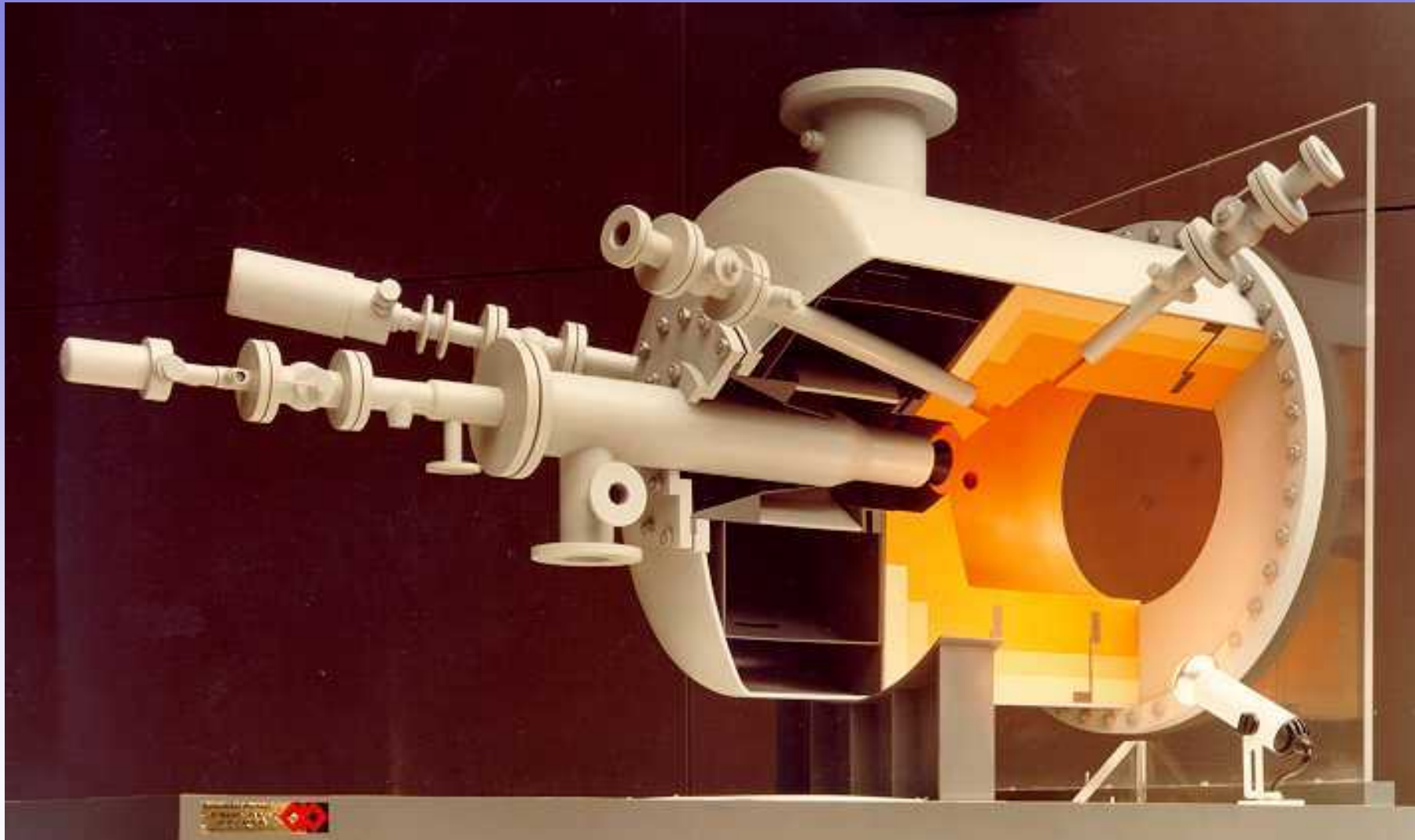


# Принципы конструкции

## Смешение:

Тип горелки	Стандартная	Высокоинтенсивная
Скорость перемешивания	От низкой до средней	Высокая
Относительная длина пламени	Длинная	Короткая
Объем камеры сжигания, ккал/ч*м <sup>3</sup>	около 1 млн.	около 8 млн.

# Горелка LMV



# Параметры главной горелки

- **Перепад давления воздуха и кислого газа**
  - **Макс.** : 1,45 psi / 10 кПа
  - **Мин.** : 0,02 psi / 0,15 кПа
  - **Соотношение** : 1:10
- зависит от перепада давления**
- **Производительность по сере** : 5 – 2000<sup>+</sup> т/сутки
  - **Диаметр** : от 2 до 14<sup>+</sup> футов  
от 600 до 4200 мм

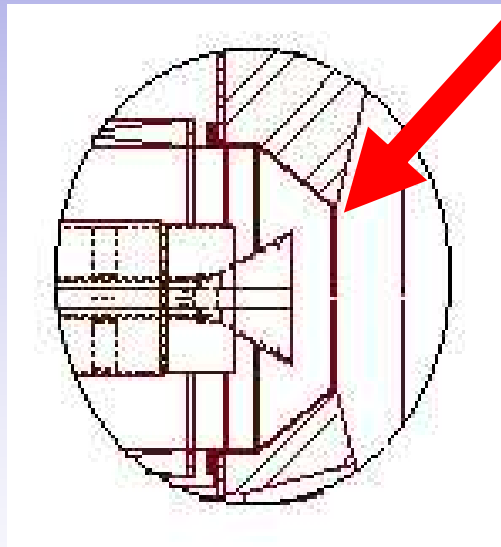


# Характеристики главной горелки

- Хорошие характеристики перемешивания
- Стабильность пламени
- Встроенная камера сжигания (сокращает размеры печи)
- Высокое соотношение – от 100 % до 10 % по сжиганию кислого газа
- Проверенная конструкция
- Эффективное разрушение аммиака и ВТХ
- Возможность обогащения кислородом

# Соотношение

Соотношение определяется минимальным потоком,  
проходящим через сужающее устройство  
 $\Delta P$  кислый газ + воздух + (топливный газ)  $\geq 0,02$  psi / 0,15  
кПа



Расчетная производительность  
основывается на макс. допустимом  $\Delta P$   
кислого газа и воздуха (макс. 1,5 psi / 10  
кПа).

Следовательно, соотношение составляет  
(упрощенно)

$$\sqrt{10 / 0,15} = 8,16 : 1$$

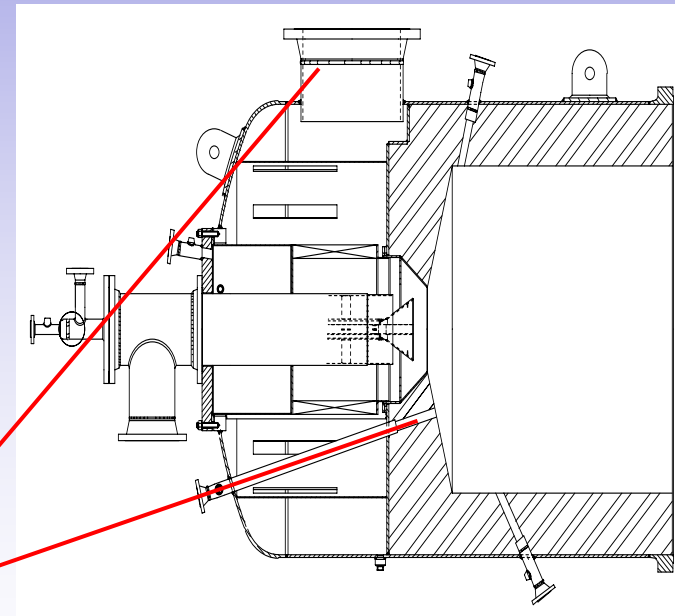
*(которое становится 10 : 1 при пониженном  
противодавлении реакционной печи)*

# Соотношение Проскок пламени

- Предотвращение проскока пламени путем измерения перепада давления
- Мин. 0,15 кПа (0,02 psi) на горелке = мин. расход / производительность горелки
- Сигнализация / блокировка (система управления горелки / РСУ)



$\Delta P$









# Принципы конструкции

## Температура:

**(Общая) температура в главной реакционной печи зависит от:**

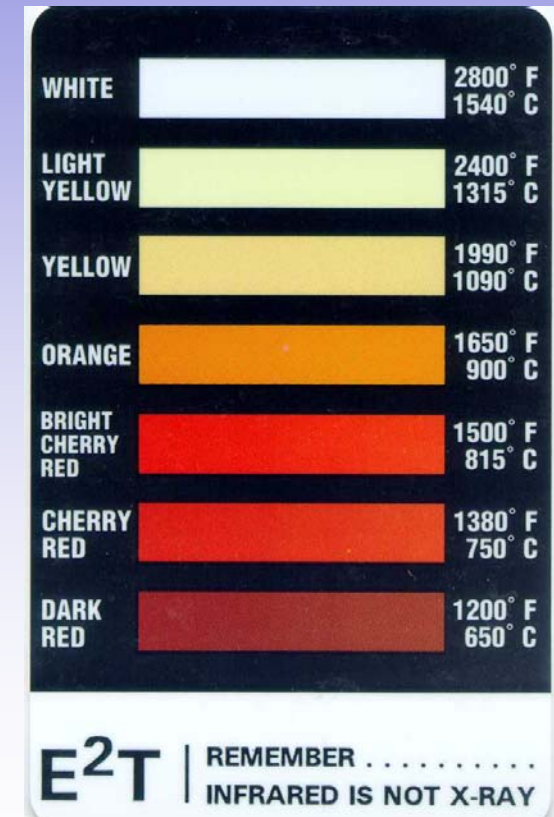
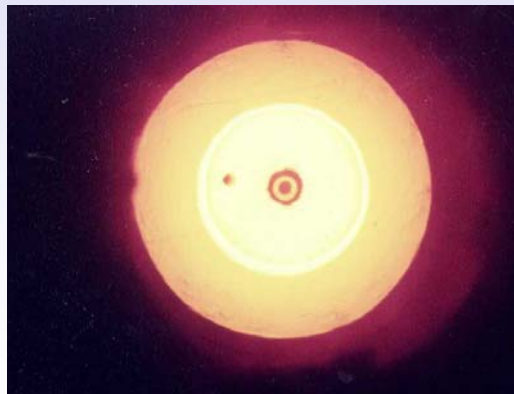
- **Химических реакций**
  - ✓ **Тепловыделение и абсорбция**
- **Другие условия (определяются разработчиком технологического процесса) как:**
  - ✓ **Подогрев воздуха / кислого газа**
  - ✓ **Байпасирование части кислого газа**
  - ✓ **Сжигание вместе с топливным газом**
  - ✓ **Обогащение кислородом**

# Принципы конструкции

## Температура:

(Макс.) температура пламени может варьироваться (повышаться) в зависимости от конструкции горелки

➤ Горелка для форсированного сжигания (компактное, короткое пламя)



# Температура

## Усовершенствованная работа

### Высокая (макс.) температура пламени способствует:

- Лучшему разрушению примесей
- Более высокой производительности по сере на термической ступени
- ✓ Снижает нагрузку на последующее оборудование
- Увеличение образования COS
- Снижение образования CS<sub>2</sub>
- ✓ Примечание: гидролиз COS выполняется в первом конверторе и, следовательно, нет потерь для восстановления. Что же касается CS<sub>2</sub>, то – это наиболее затруднительно. Более того, COS содержит только один атом серы.

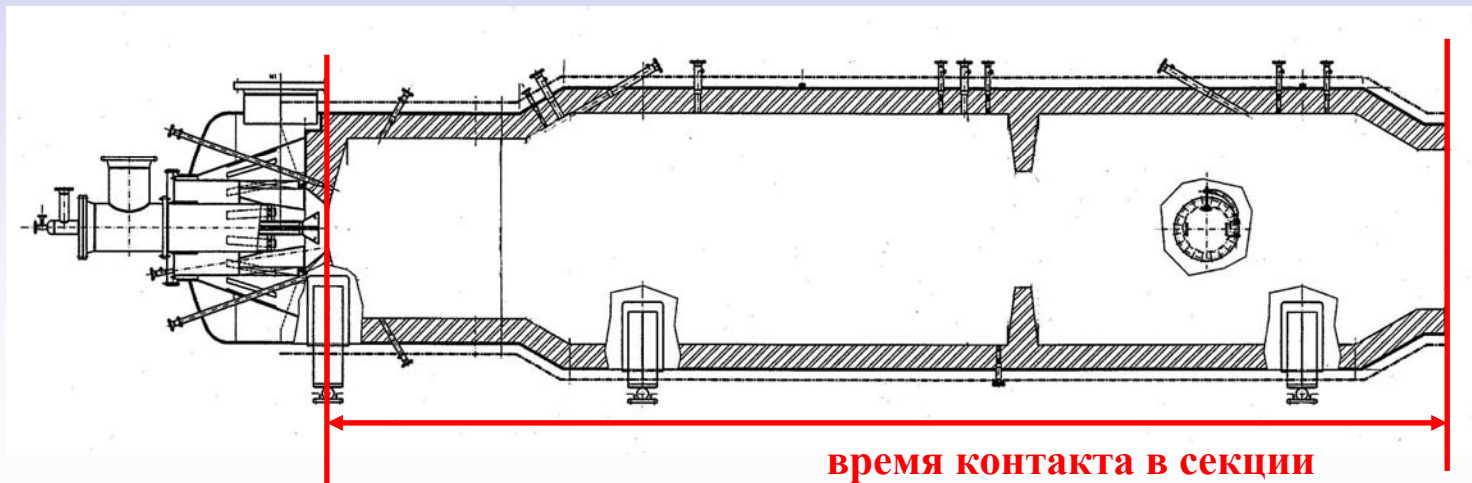


# Принципы конструкции

## Время (контакта):

Имеющееся время для вступления компонентов в реакцию (при повышенной температуре)

➤ Зависит от компонентов(примеси) (*указываются разработчиком технологического процесса*)









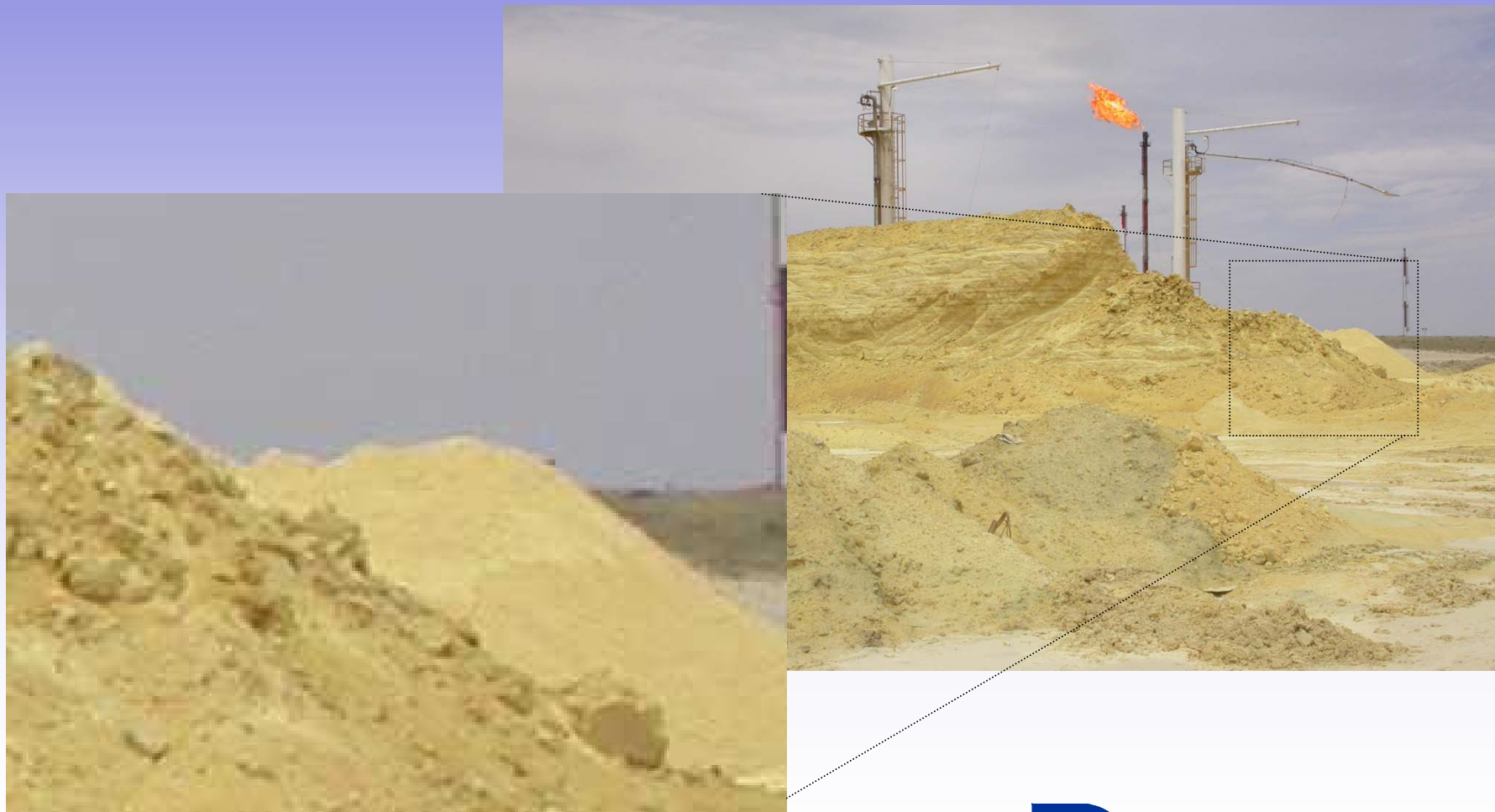
# Разрушение примесей: Аммиак

- **Что может произойти?**
  - ✓ **Забивка конденсаторов (аммонийные соли)**
- **Как избежать проблем?**
  - ✓ **Температура  $\geq 1250$  °C (2370 °F)**
  - ✓ **Время контакта  $\geq 1$  сек.**
  - ✓ **Интенсивное перемешивание**
- **Опыт**
  - ✓ **До 17 % проскока  $\text{NH}_3$  – не обнаруживаемый**
  - ✓ **До 27 % < 10 ppm**

# Разрушение примесей: (Тяжелые) углеводороды ВТЕХ

- **Что может произойти?**
  - ✓ **Загрязнение серы**
  - ✓ **Забивание катализатора**
- **Как избежать проблем?**
  - ✓ **Температура  $\geq 1050$  °C (1920 °F)**
  - ✓ **Интенсивное перемешивание**
  - ✓ **Время контакта  $\geq 1,5$  сек.**
- **Опыт**
  - ✓ **Более 10 установок работают с высоким содержанием ВТХ**
  - ✓ **Определяется до 5 % бензола**

# Разрушение примесей: (Тяжелые) углеводороды





# Линейные горелки / горелки для установок очистки хвостового газа



# Линейные горелки / горелки RGG

## Требования:

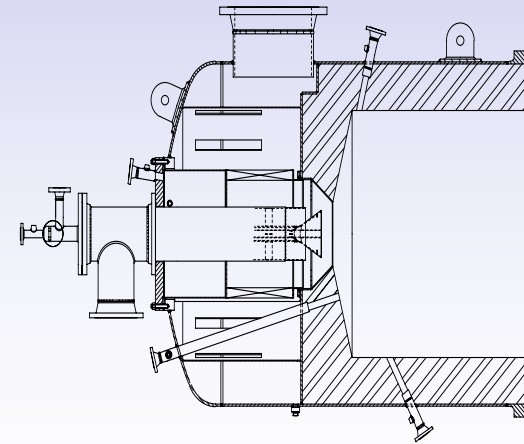
- **Качество дымового газа (нет O<sub>2</sub>, сажи)**
- **Производительность / соотношение**
- **Стабильность пламени**
- **Разрушение примесей (сжигание кислого газа)**
- **Безопасная и надежная конструкция**



# Линейные горелки

## *Сжигание кислого газа*

- **Работа на кислом газе амина (без SWS газа)**
- **Конструкция и технические характеристики аналогичные главной горелке (небольшая главная горелка)**
- **Как правило, работа при 75 – 85 % стехиометрии**
  
- ✓ **Не требуется 1/3 сжигания.**  
    **Это будет компенсироваться в технологическом процессе**
- ✓ **Тем не менее, должна быть суб-стехиометрия во избежание проскока кислорода**



# Печи-генераторы

- **Применяются в нескольких процессах очистки хвостового газа в целях повышения производительности (> 99%) для таких установок как Scot, BSR- МДЕА, RAR, HCR и т.д.**
- **Для подогрева технологического потока и производства водорода / CO за счет суб-стехиометрического сжигания топливного газа**
- **Конструкция аналогична поточному подогревателю**

# Линейные горелки / горелки для установок очистки хвостового газа

## Рабочие параметры

### СТЕХИОМЕТРИЯ

- $O_2$  постоянный уровень, ~150 ppm,  
почти стехиометрия
- $CO / H_2$  снижают стехиометрию
- Образование сажи нет образования сажи при  
условии, что стехиометрия  
 $\geq 80 \%$



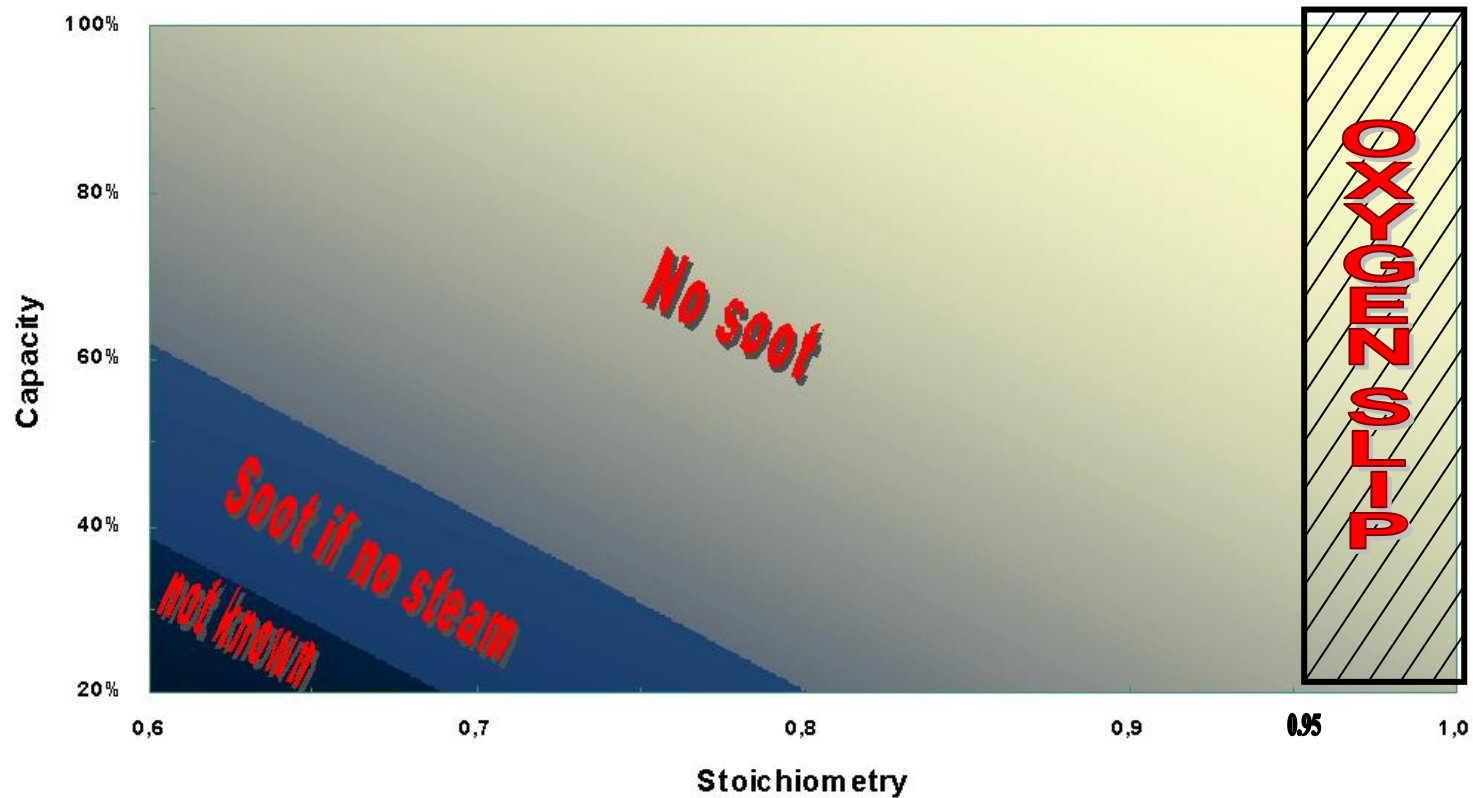
# Линейные горелки / горелки RGG Изменяющиеся рабочие параметры

## ***ДОБАВЛЕНИЕ ПАРА***

- Сажа добавление 25 % пара (кг / кг топлива) снижает возможную стехиометрию на, как мин., 10%
- Снижает макс. температуру пламени
- Обратит внимание на опасность возможной конденсации
- Убедиться, что сканнеры пламени смогут работать при таких условиях

# Линейные горелки / горелки RGG Изменяющиеся рабочие параметры

*Soot formation as function of  
stoichiometry and capacity*

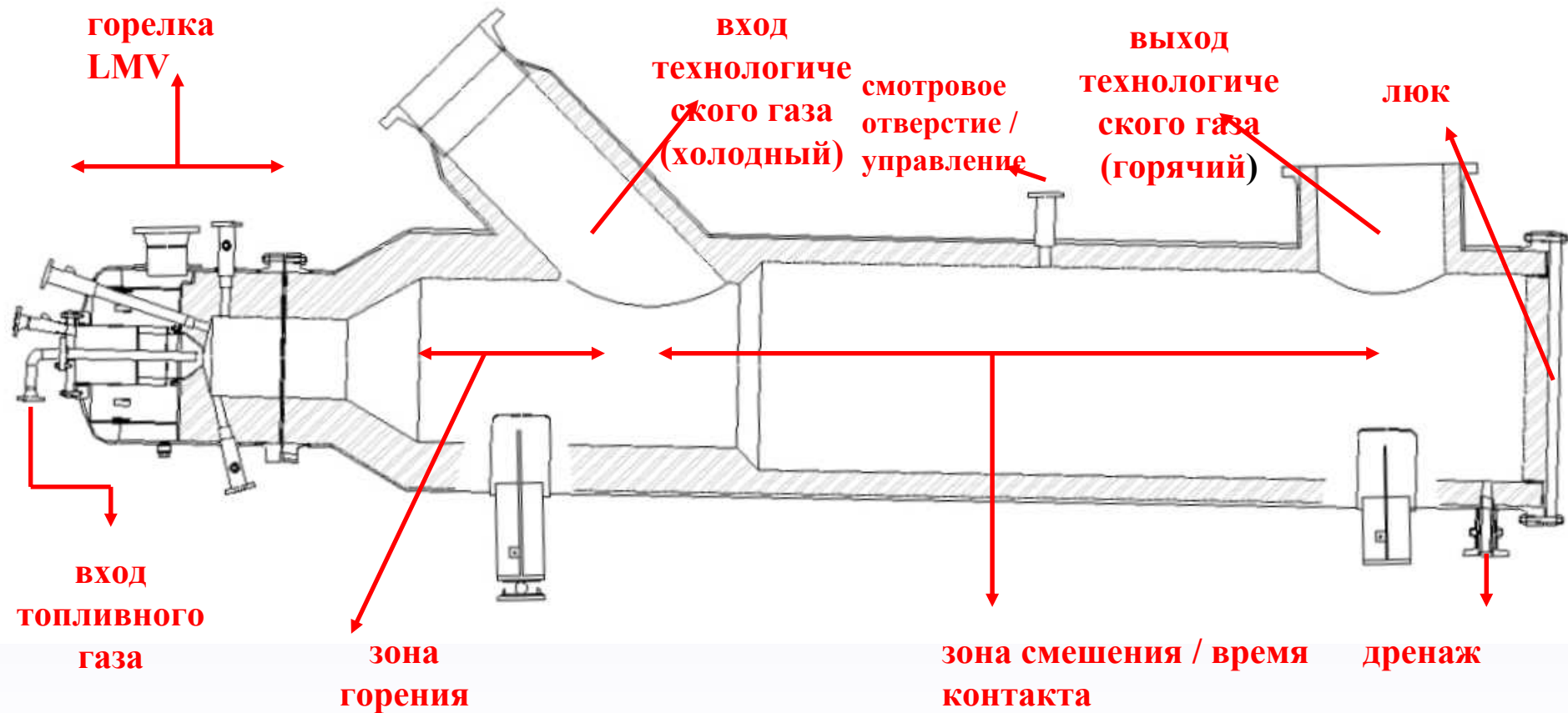


# Линейные горелки / горелки RGG

## Рассмотрение рабочих условий

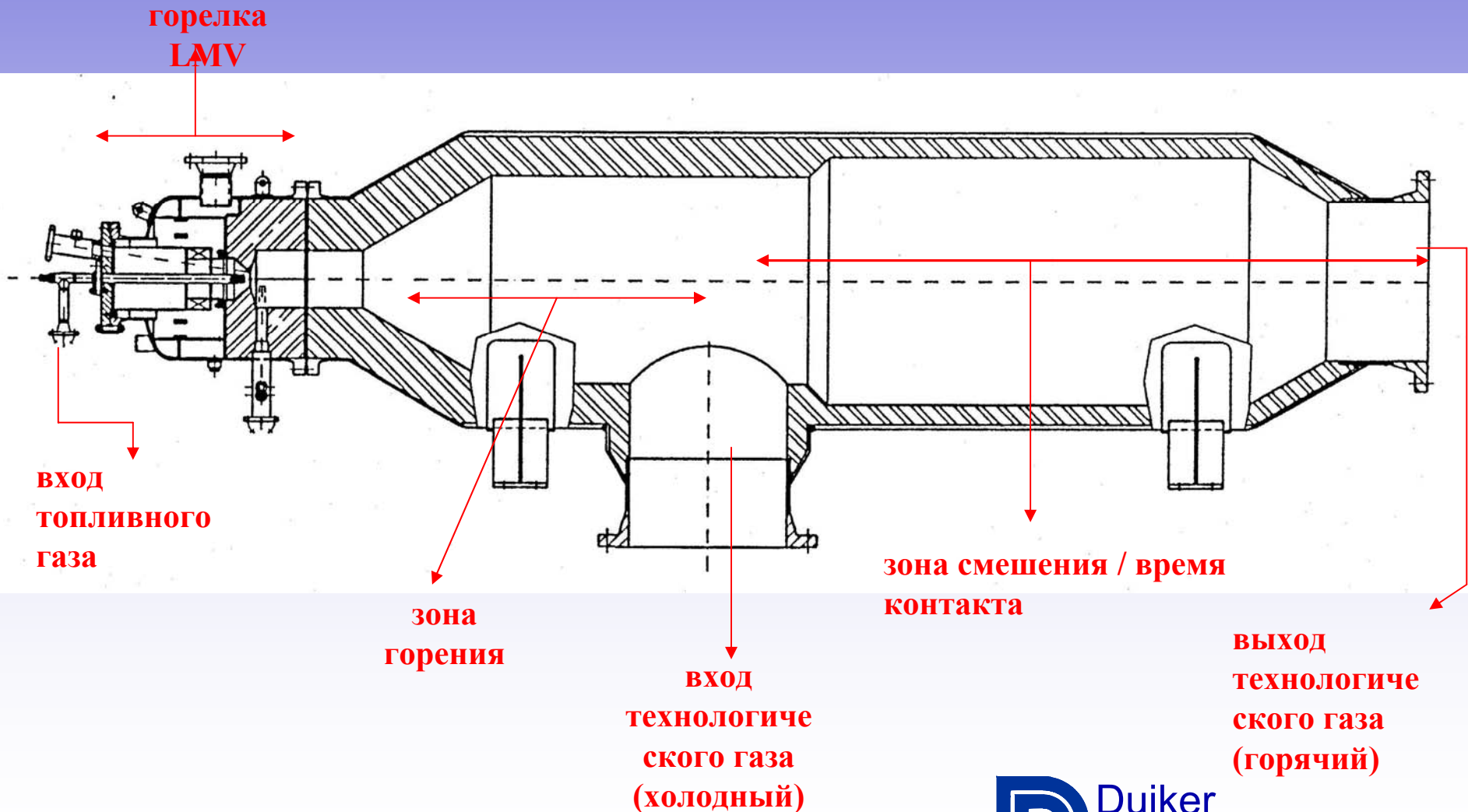
- Не выполнять розжиг в условиях близких к стехиометрическим ( $> 95 \%$ ) из-за проскока кислорода
- Интенсивное смешение и добавление пара помогают предотвратить образование сажи
- Учитывать переход на природный газ, кислый газ (или другой стабильный газ) взамен газа НПЗ .....

# Поточный подогреватель / печь-генератор конструкция камеры





# In-line reheater / RGGG *chamber design*



## Линейные горелки / горелки RGG

### *Регулирование расхода воздуха*

### *(газ НПЗ или природный газ?)*

Состав топливного газа	Требуемое количество воздуха кг/кг топлива	Требуемое количество воздуха нм <sup>3</sup> /нм <sup>3</sup> топлива
<b>Природный газ</b>	<b>12</b>	<b>9,8</b>
<b>100 % H<sub>2</sub></b>	<b>34</b>	<b>2,3</b>
<b>25 % H<sub>2</sub> 35 % CH<sub>4</sub> 22 % C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> 12% C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> 6 % C<sub>4</sub>H<sub>10</sub><sup>+</sup></b>	<b>16,8</b>	<b>12,5</b>
<b>50 % H<sub>2</sub> 24 % CH<sub>4</sub> 13 % C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> 10% C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> 3 % C<sub>4</sub>H<sub>10</sub><sup>+</sup></b>	<b>19,3</b>	<b>9,1</b>
<b>70 % H<sub>2</sub> 13 % CH<sub>4</sub> 8 % C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> 6% C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> 3 % C<sub>4</sub>H<sub>10</sub><sup>+</sup></b>	<b>18,8</b>	<b>6,7</b>

# Линейные горелки / горелки RGG

## Рассмотрение рабочих условий

**Как справиться с изменениями в составе топливного газа НПЗ?**

**Если количество воздуха зависит от объемного расхода газа при стехиометрии 90 % :**

- **Необходимое количество воздуха / топливного газа может существенно разниться (от 65 % до 120 % стехиометрии)**
- **Вы можете создать условия для образования сажи или проскока кислорода!**

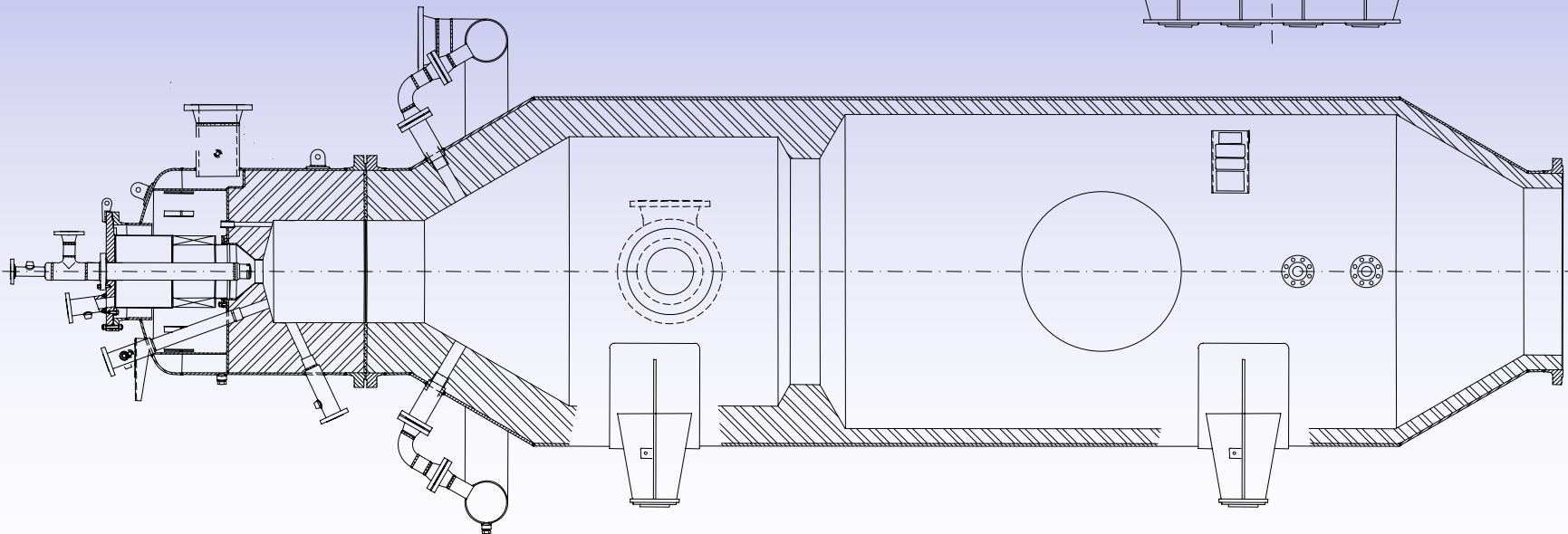
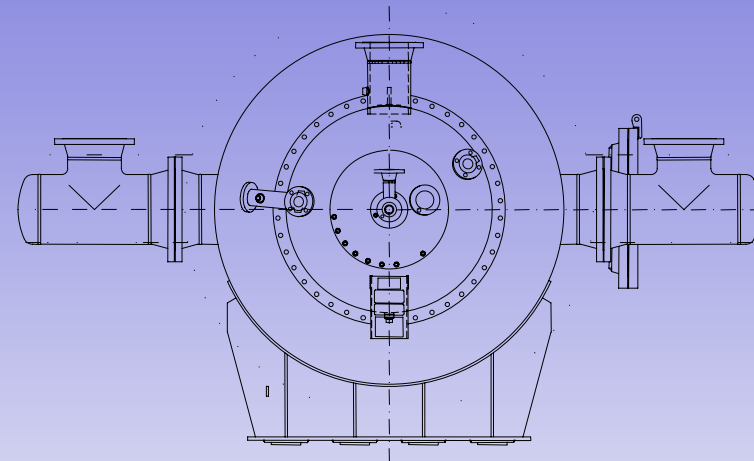
**Заключение:**

- **Измерение массового расхода топливного газа предпочтительнее стехиометрия – в пределах от 83 % до 95 %**

# Печи-дожигга

## ➤ Требования:

- ✓ Выделение  $H_2S$  ( $CO$  /  $NO_x$ )
- ✓ Гибкость (соотношение)
- ✓ Завихрение (показатель смешения)



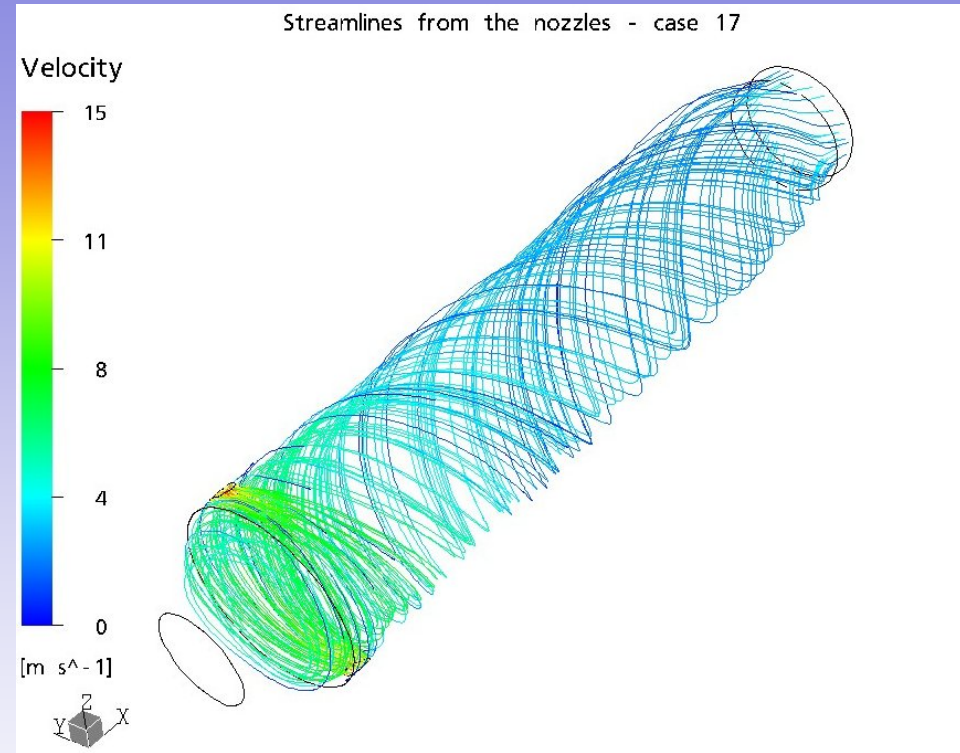
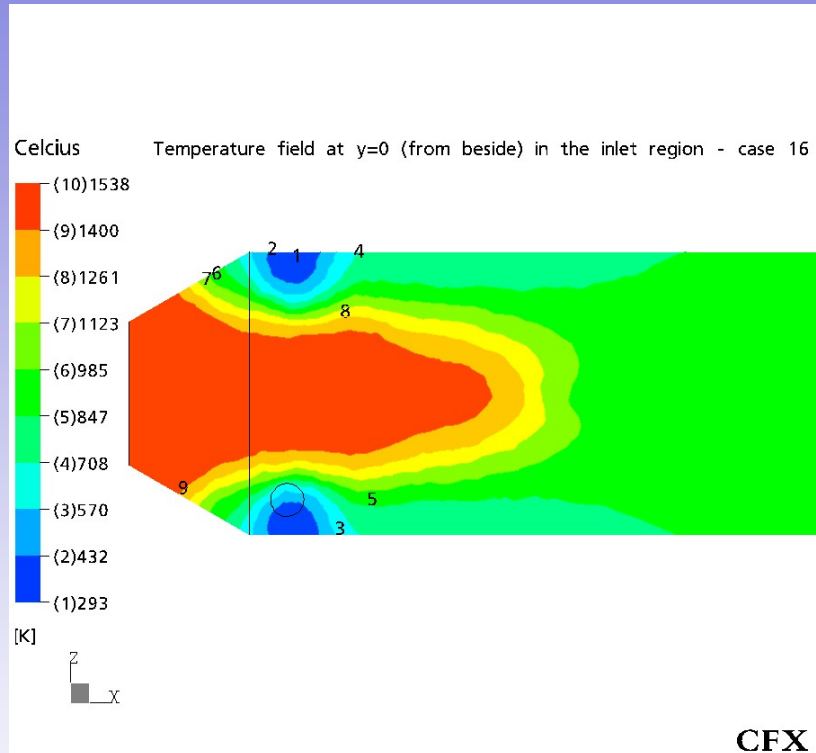
# Печь-дожиг





# Смешение

## Пример:



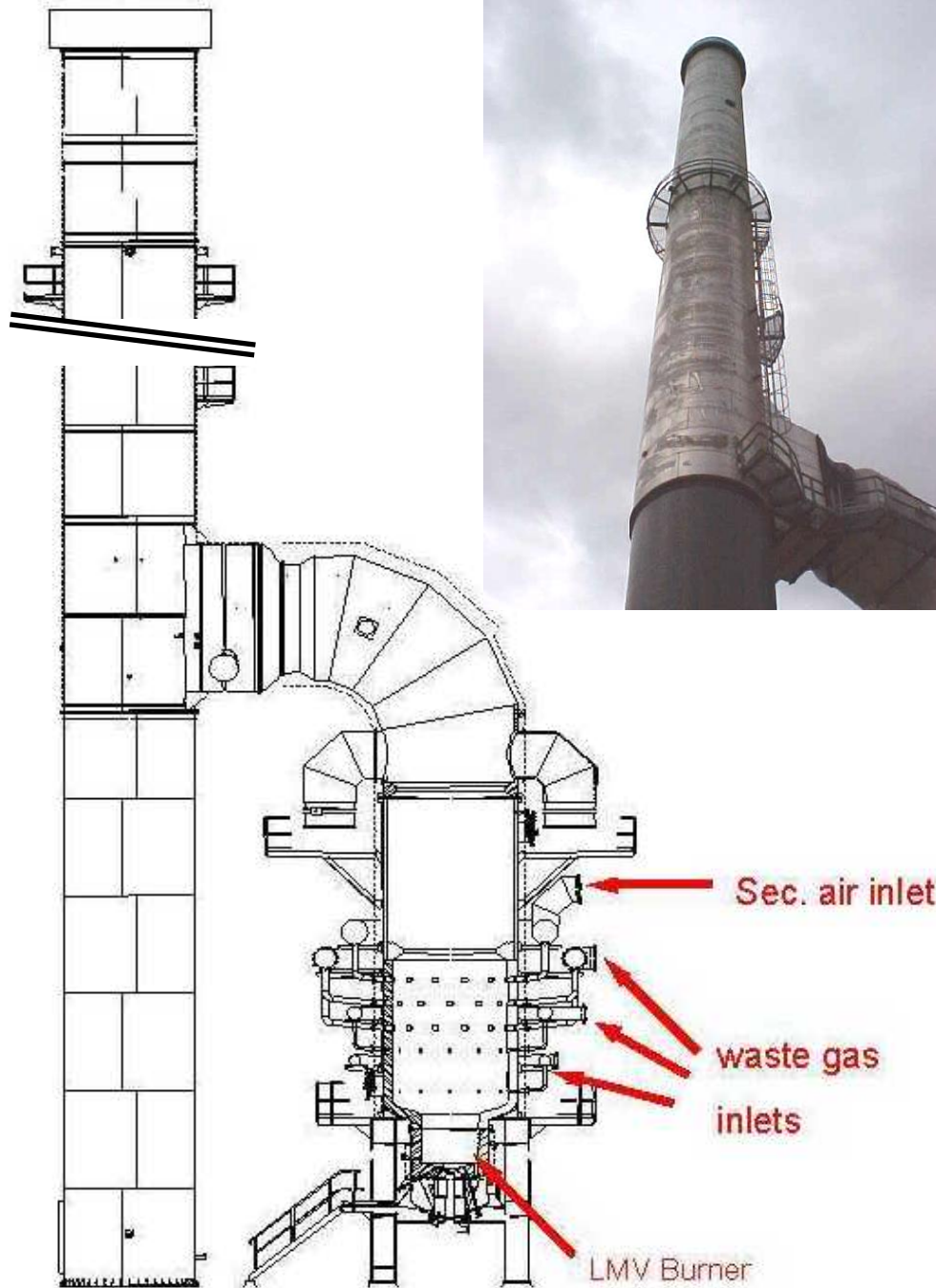
**(Типовой) профиль температуры и скорости для печи-  
дожига со штуцерами ввода**  
**Поле распределения температур при  $y=0$  в зоне впуска –  
вариант 16**  
**Направление потоков из штуцеров – вариант 17**

# Принудительная тяга / Естественная тяга Печи-дожиги

Преимущества печей-дожиги с принудительной тягой

- **Безопасность**
- **Регулируемость**
- **Гибкость (соотношение)**
- **Лучше смешение**
- **Меньшее потребление топливного газ благодаря меньшему уровню избыточного  $O_2$  и температуре (эксплуатационные расходы)**

# Печь-дожигга ХВОСТОВОГО ГАЗА





# Печь-дожигга хвостового газа



# Обогащение кислородом

## ЗАЧЕМ?

- **Увеличение производительности**  
возможность увеличения производительности  
свыше 100 % для запатентованных технологий
- **Резервирование**
- **Повышение температуры**
- **Сокращение инвестиционных затрат**

# Обогащение кислородом

- КАК?
- **Низкий уровень (до 28 об.% O<sub>2</sub>)**
- Смешение кислорода с воздухом горения до ввода в горелку
- **Средний уровень (до ± 45 об.% O<sub>2</sub>)**
- Горелка предусматривается со специальным штуцером для ввода кислорода
- **Высокий уровень (до 100 об.% O<sub>2</sub>)**
- Должно быть применено регулирование температуры
- (COPE использует рецикл холодного технологического газа)
- (SURE основывается на двойном сжигании)

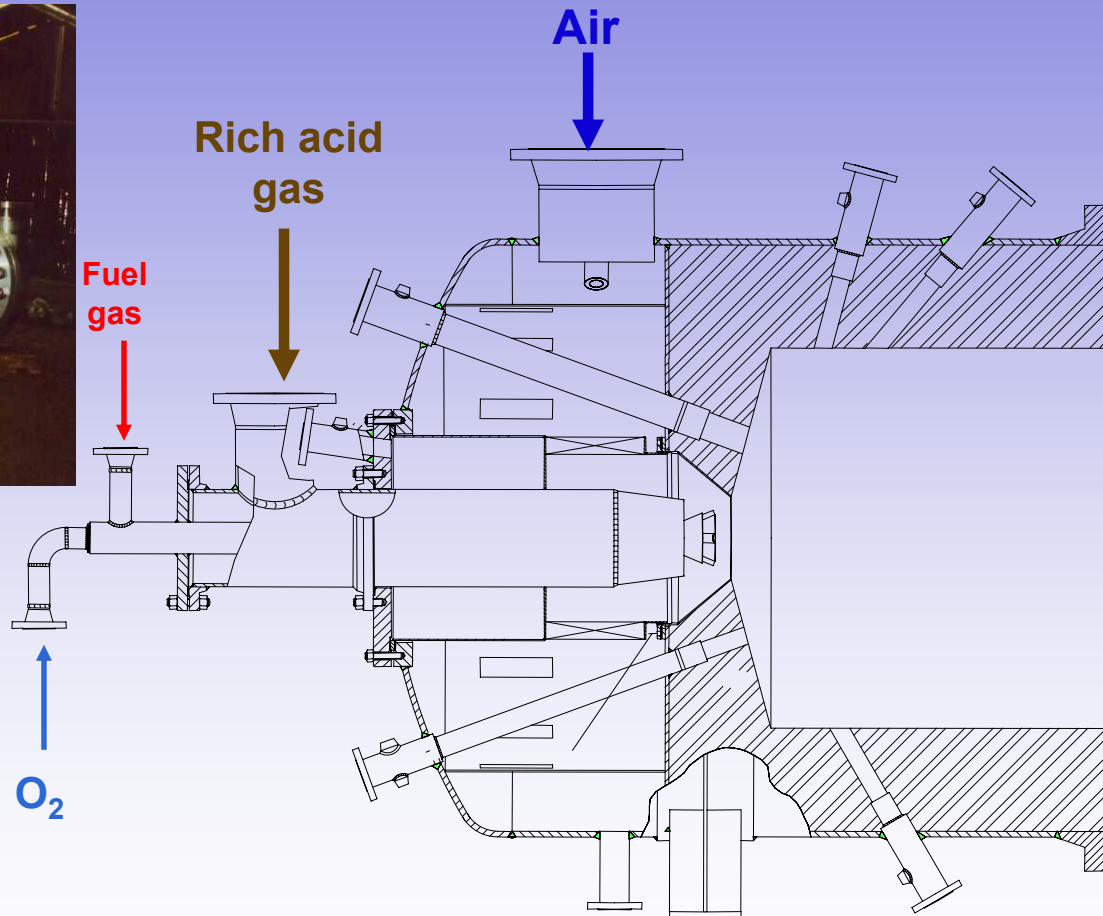
# Обогащение кислородом

## Опыт Duiker использования обогащения кислородом

*Просим учесть, что Duiker является производителем горелочного оборудования, а не «разработчиком технологического процесса»!*

- **Поставлено более 40 горелок для установок с обогащением O<sub>2</sub>**
- *Из которых 21 была поставлена для технологии CORE*
- **Уровень обогащения O<sub>2</sub> от 26 % до 100 %**
- *Первая установка смонтирована в 1985г.!!!*

# Обогащение кислородом Насыщенный кислый газ:



# Обогащение кислородом

## Принципы:

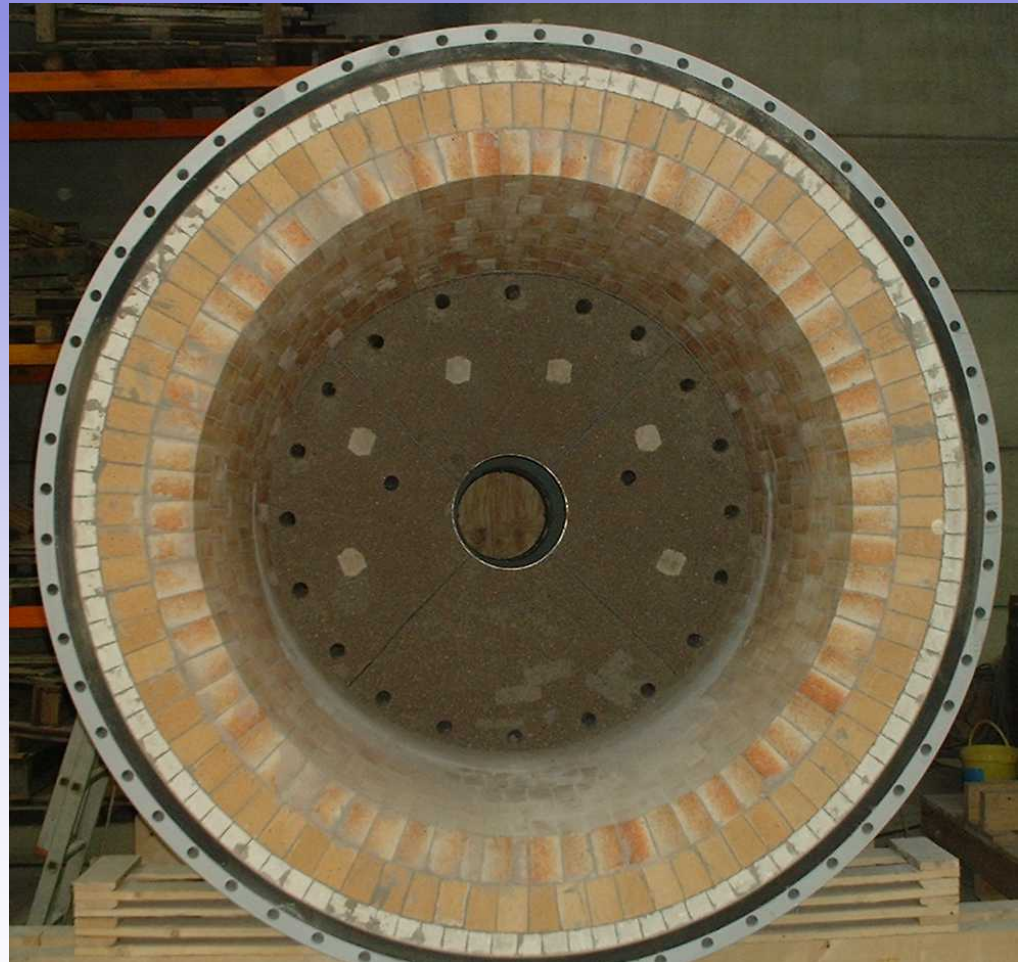
- Выбор материала:
- Скорость кислорода в трубопроводах
- Огнеупорные материалы ограничивают макс. допустимый уровень обогащения
- Способ ввода кислорода может в значительной степени повлиять на работу всей установки



# Огнеупорные материалы

## *Considerations:*

- **Материал рабочей поверхности**
- **(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + примеси)**
- **Термостойкость**
- **Тепловой расчет**
- **(температура обечайки, защитный экран)**
- **Поставщик**
- **Монтаж**



## Материалы рабочей поверхности футеровки

➤ **Макс. рабочая температура рабочей поверхности**

Фактические данные:	Min	Max
Кислый газ:	950°C	1350°C
Топливный газ:	1200°C	1500°C

## Термостойкость

Растрескивание



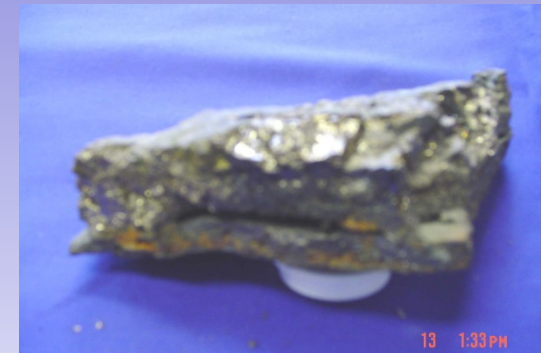
Плавление





# Рабочая температура стального огнеупорного кожуха

➤ Макс. температура стали  
< 325°C



➤ Мин. температура стали  
> 160°C



# Рабочая температура стального огнеупорного кожуха

- Применение защитного экрана
- Мин. покрытие огнеупорной футеровкой секции - 240 °С
- Открыт по всей длине
- Материал
- нержавеющая сталь 304 S



# Проблемы с огнеупорным материалом

## Как избежать данных проблем?

- ✓ *Выбор правильных материалов*
- ✓ *Высокое качество не всегда означает лучший выбор*
- ✓ *Разработка проекта с учетом возникновения конкретных сбоев оборудования*
- ✓ *Опытный / знающий поставщик / подрядчик*
- ✓ *Правильный монтаж и сушка*
- ✓ *Контролируемый разогрев / охлаждение*

# Розжиг

## ➤ Вопросы:

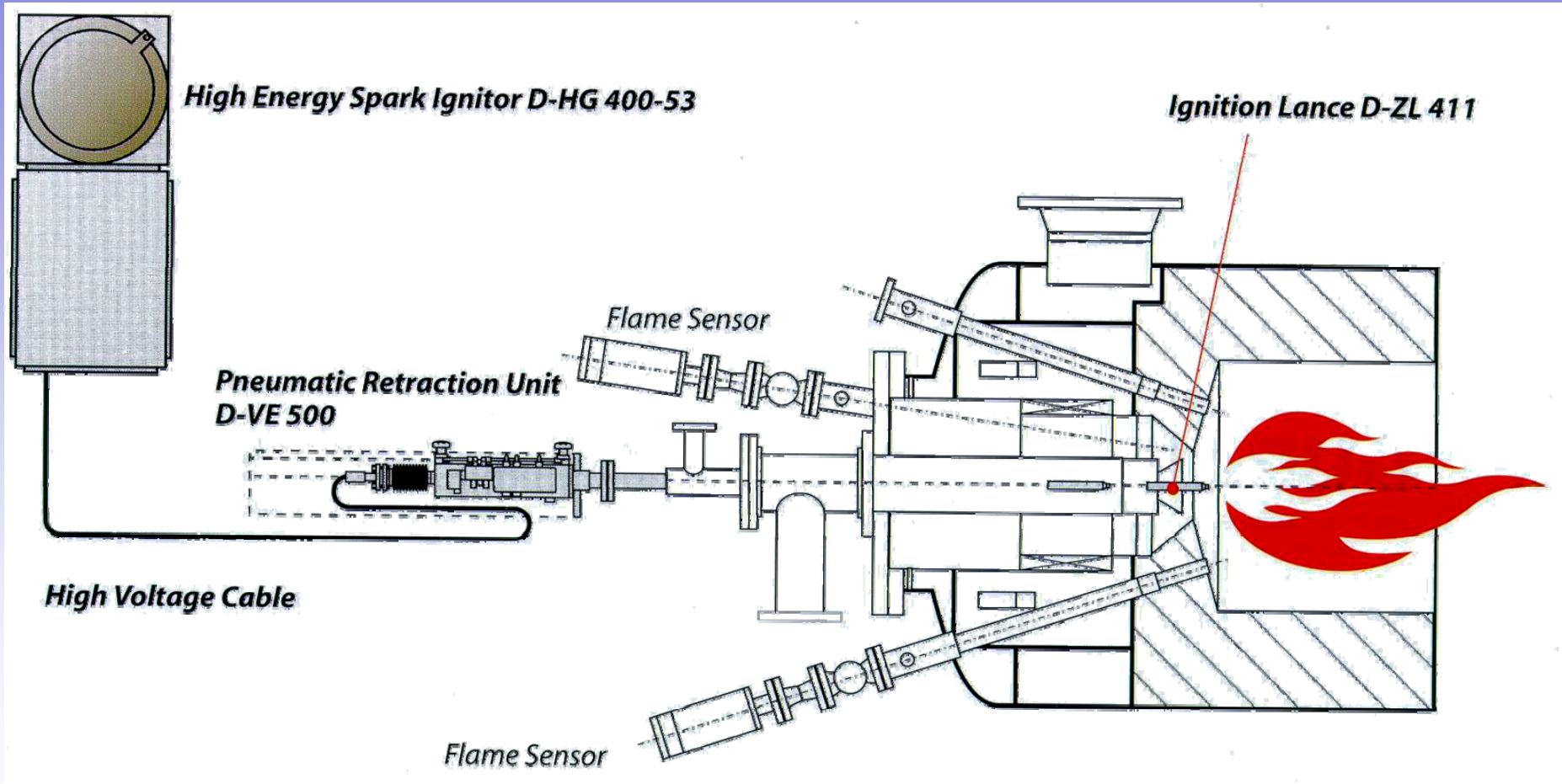
- ✓ **Неисправности системы розжига**
- ✓ *(большинство пилотных горелок не рассчитано на работу в условиях продувки азотом)*
- ✓ **Сгоревший наконечник пилотной горелки**
- ✓ **Забивание пилотной горелки**

## ➤ Решения:

- ✓ **Пневматически отводимый наконечник**
- ✓ **Месторасположение пилотной горелки**
- ✓ **Охлаждение / продувка запального устройства**
- ✓ **Использование запальных устройств, предназначенных для горелок, работающих под давлением**

# Розжиг:

## Пневматически отводимое запальное устройство





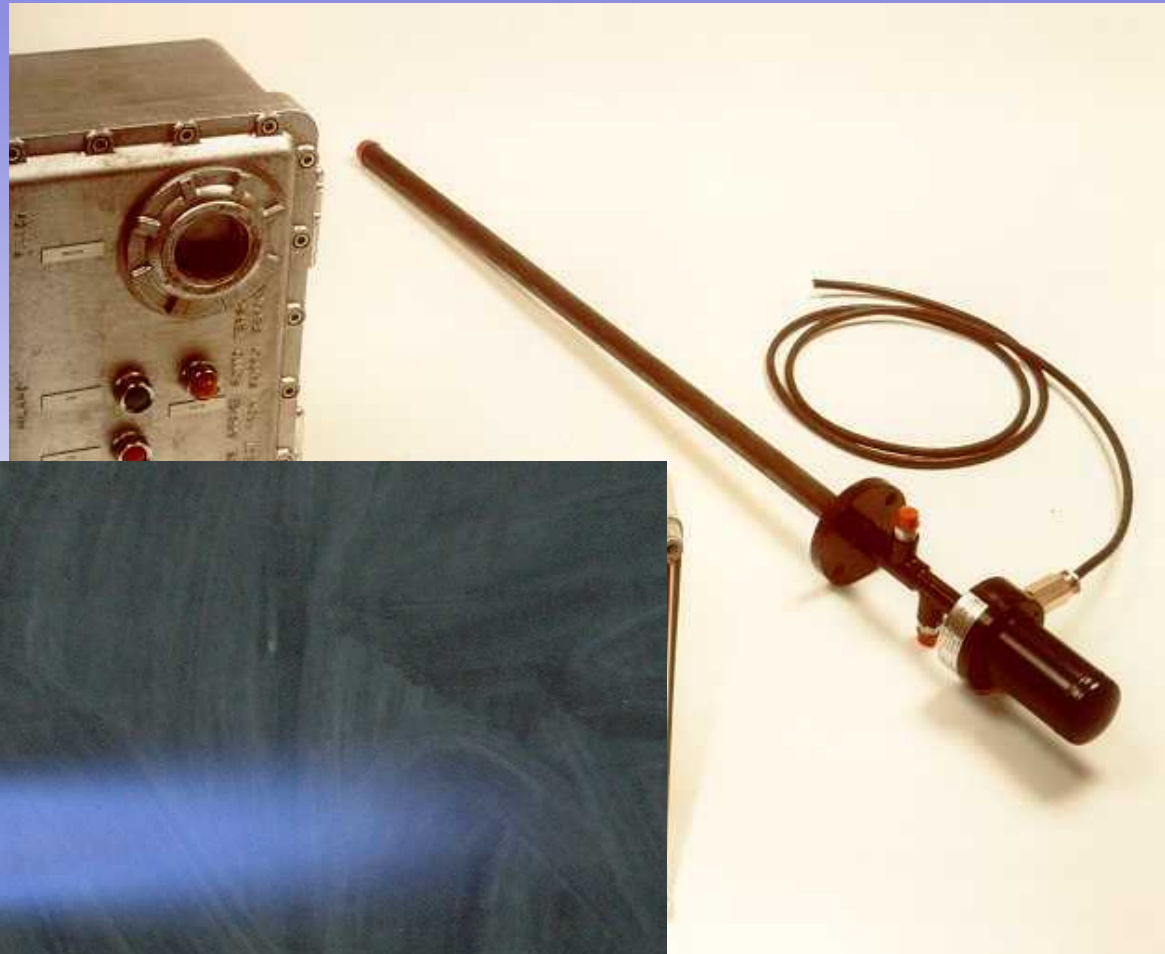
## Розжиг:

# *Пневматически отводимое запальное устройство*



# Розжиг

## Пилотная горелка





# Сканнеры пламени

## ДОЛЖНЫ ОПРЕДЕЛЯТЬ:

- Пламя кислого газа
  - Трудно определить, рекомендуемые сканнеры
  - *BFI IRX 7.0*
  - *Durag DLE 603 UA*
- Пламя топливного газа
  - Необходимо учитывать паровое охлаждение
  - Пар поглощает УФ

## Штуцеры приборов КИП

- При возможности предусматривать как можно меньшие размеры для штуцеров – 1½” или 2”
- Обязательны отсечные задвижки для отключения приборов КИП от технологического потока
- Использование достаточной продувки (прибл. 10 нм<sup>3</sup>/ч)
  - *Применение ротаметров*
  - *Использование азота или воздуха КИП*

# Безопасная конструкция и безопасная эксплуатация

- Проектирование с учетом норм
- Работа
  - ✓ *Обученный персонал*
  - ✓ *Образование*
  - ✓ *Помощь*
  - ✓ *Принципы*



# Вопросы:

