# Реконструкция компрессорного цеха на примере КС «Вавожская» Увинского ЛПУМГ ООО «Газпром Трансгаз Чайковский»

*Подготовил студ. гр. ЗССПБ-57(К)Х Губкин С. Н.*

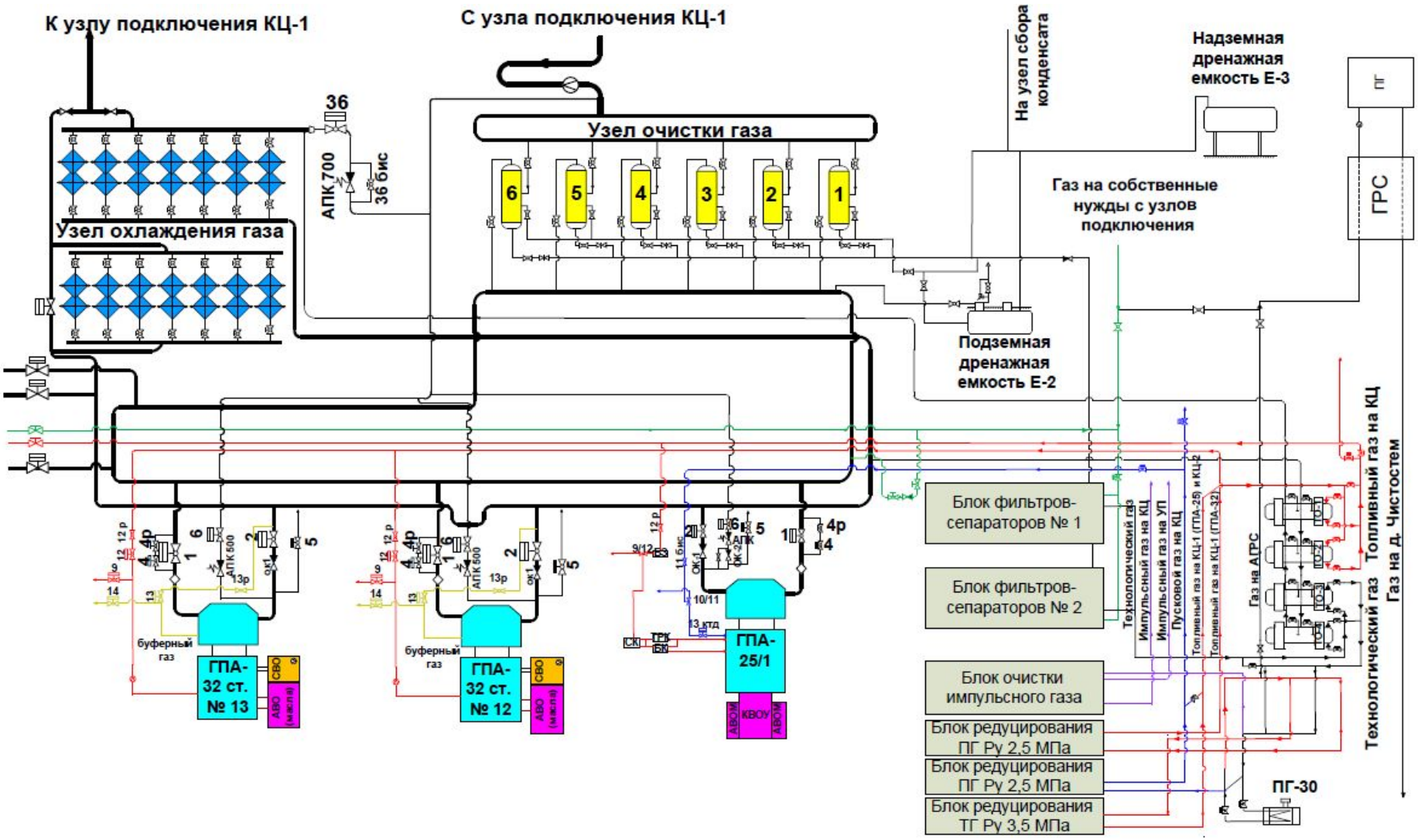
*Руководитель: К.Т.Н. доцент Насыров А.М.*

# Компрессорный цех № 1
# КС «Вавожская»

# Характеристики природного газа из Ямбургского месторождения (сеноман)

| Характеристика природного газа | Значение |
|---|---|
| Содержание метана | 98,6% |
| Содержание азота | 1,12% |
| Содержание диоксида углерода | 0,19% |
| Содержание пропана | 0,07% |
| Содержание остальных примесей | не более 0,03 % |
| Относительная плотность по воздуху (при 20°С) | 0,562 кг/м$^3$ |
| Теплотворная способность | 7898 кДж/м$^3$ |
| Удельная теплота сгорания (при 20°С) | 33080 кДж/м |
| Молярная масса смеси | 16,248 кг/кмоль |
| Газовая постоянная смеси | 511,703 Дж/кг·К |
| Плотность смеси | 0,6754 кг/м$^3$ |
| Псевдокритическая температура смеси | 190,137 К |
| Псевдокритическое давление смеси | 4,589 МПа |

# Технологическая схема КЦ № 1 КС «Вавожская»



# Характеристика агрегата ГПА-25/76

| Параметры | Значения |
|---|---|
| Серия модели газовой турбины | ГТН-25 |
| Среднемассовая температура продуктов сгорания на входе в турбину | 500°С |
| КПД, отнесенный к мощности на муфте нагнетателя | 27,5% |
| Частота вращения вала ТНД | 4400 об/мин |
| Частота вращения вала ТВД | 5100 об/мин, |
| Частота вращения вала силовой турбины | 3700 об/мин |
| Количество ступеней турбины | 3 |
| Центробежный нагнетатель НЦ 650-22-22 | |
| Отношение давлений (степень сжатия) | 1,44 |
| Диапазон изменения частоты вращения ротора нагнетателя | 2700-3900 об/мин |
| Производительность объемная, отнесенная к 20°С и 0,1013 МПа (760 мм рт.ст.) | 53 млн.м$^3$/сутки |
| Мощность, потребляемая (на муфте турбины) | 25,5 МВт |

# Основные недостатки ГПА-25/76

- низкий КПД – 27,5 %
- значительное потребления топливного газа
- низкая надежность при пуске
- недостаточно эффективная организация технологического процесса
- большие затраты на ремонтно-техническое обслуживание
- высокий уровень выбросов оксидов азота и оксида углерода
- не соответствует современным требованиям охраны труда и промышленной безопасности

# Обоснование выбора ГПА-32 «Ладога» для замены ГПА-25/76

***Укрупнение единичной мощности ГПА позволяет:***

- снизить количество вспомогательных технологических элементов КС;
- сократить протяженность трубопроводной обвязки и количество запорно-регулирующей арматуры;
- сократить требуемое количество персонала и инфраструктуры;
- уменьшить площадь застройки.

***Недостатки укрупнения мощности:***

- усложнение резервирования ГПА;
- уменьшение возможности регулирования работы цеха за счет включения/выключения ГПА;
- время работы агрегатов на частичном режиме увеличивается при изменении производительности газопровода, что снижает *КПД* установки

# Принципы для обеспечения технологической надежности КС при эксплуатации ГПА-32

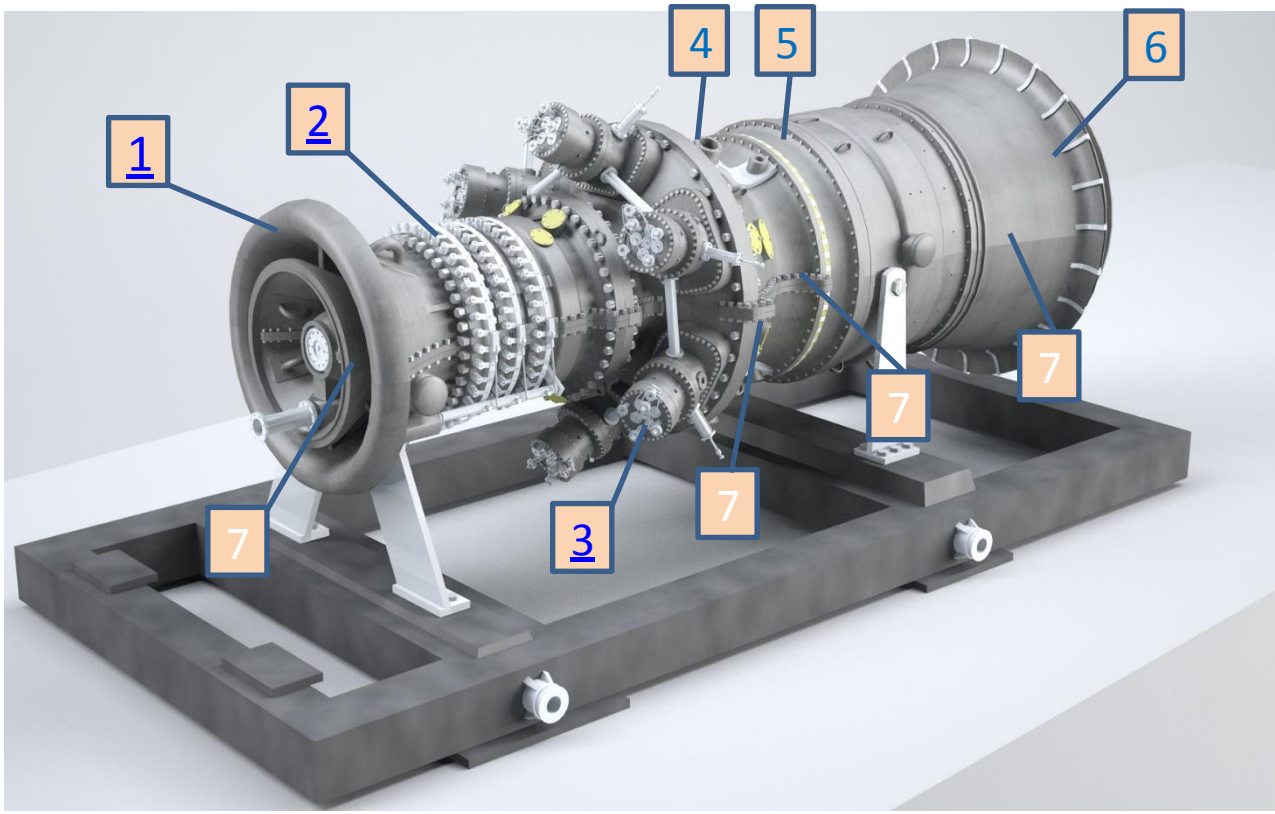
- ГПА-32 применяются для реконструкции КС исключительно многониточных систем МГ (как минимум двухцеховая КС);
- резервирование ГПА-32 обеспечивается объединением технологических структур компрессорной станции;
- применение межцеховых перемычек;
- комбинация ГПА-32 с менее мощными агрегатами;
- потребность в дальнейшей эксплуатации МГ должна быть обеспечена перспективными газотранспортными потоками;
- проектная работоспособность и целостность линейной части обеспечивается за счет достаточных объемов диагностического обслуживания и ремонта;
- достаточно стабильный график транспортировки газа.

# Характеристика агрегата ГПА-32 «Ладога»

| Параметры | Значения |
|---|---|
| Серия модели газовой турбины | MS5002E |
| Назначение | привод нагнетателя |
| Вращение вала | против часовой стрелки |
| Скорость вращения вала | 48 $с^{-1}$ (мин) – 100 $с^{-1}$ (макс) |
| Система управления | Mark VI SPEEDTRONIC |
| Компрессорная секция | |
| Количество ступеней сжатия | 11 |
| Тип компрессора | осевой, высокопроизводительный |
| Тип входного направляющего аппарата | с регулируемым входным каналом |
| Секция турбины | |
| Количество ступеней турбины | 2 (двухвальная) |
| Центробежный компрессор | |
| Производительность, отнесенная к 20°С, 0,1013МПа | 66 млн. $м^3$/сут |
| Давление газа конечное, абсолютное на выходе из нагнетательного патрубка | 7,45 МПа |
| Степень сжатия | 1,38 |
| Мощность, потребляемая компрессором | 28,3 МВт |

# Устройство газогенератора MS5002E

**При работе газовый поток проходит следующие стадии:**




1.Входная секция газогенератора

2. Осевой компрессор

3. Камеры сгорания (6 шт.)

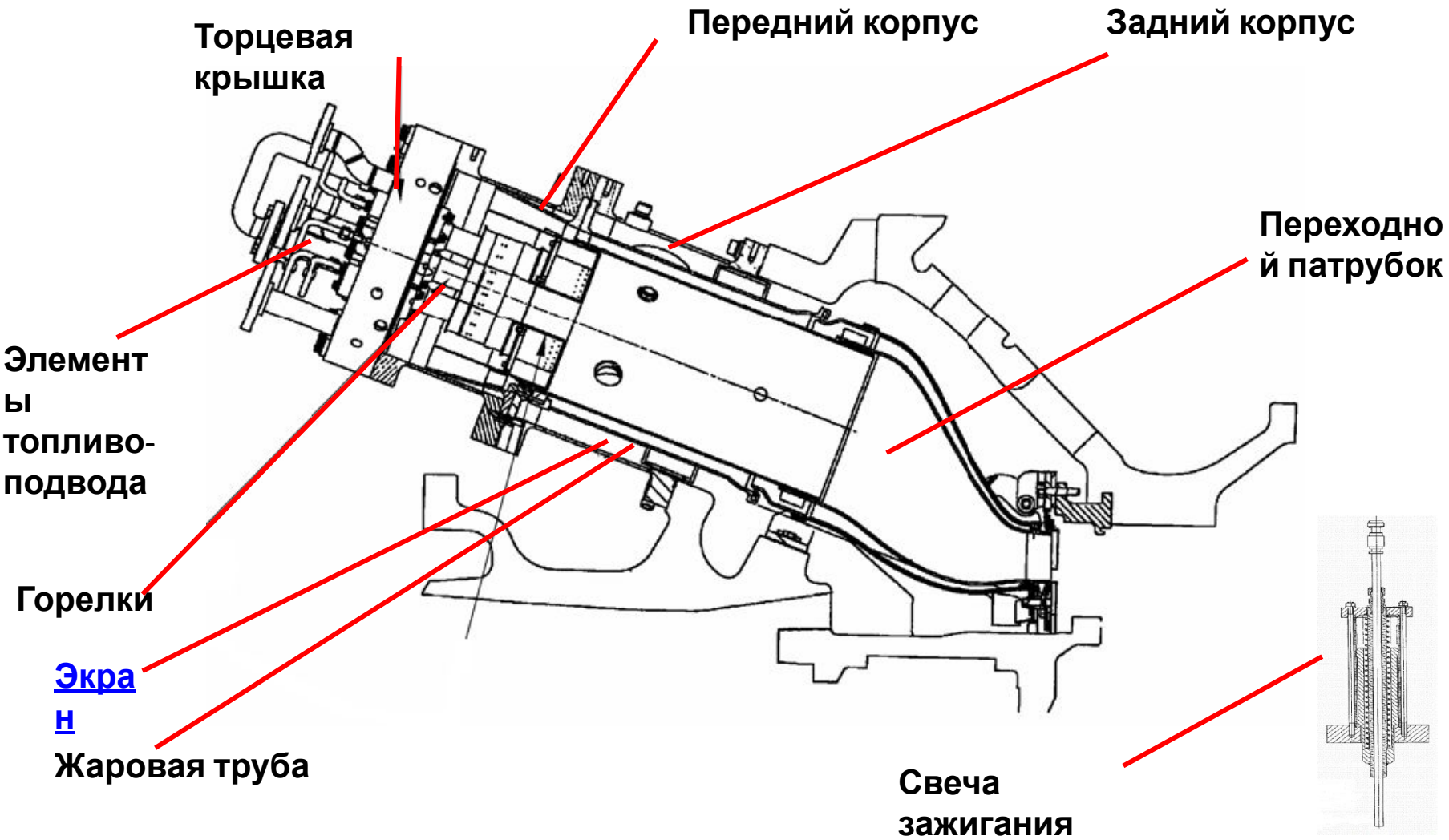
4. Секция турбины высокого давления

5. Секция турбины низкого давления

6. Выхлопная секция

7. Четыре опорных подшипника скольжения и один двухсторонний упорный подшипник скольжения

# Камера сгорания двигателя MS5002E



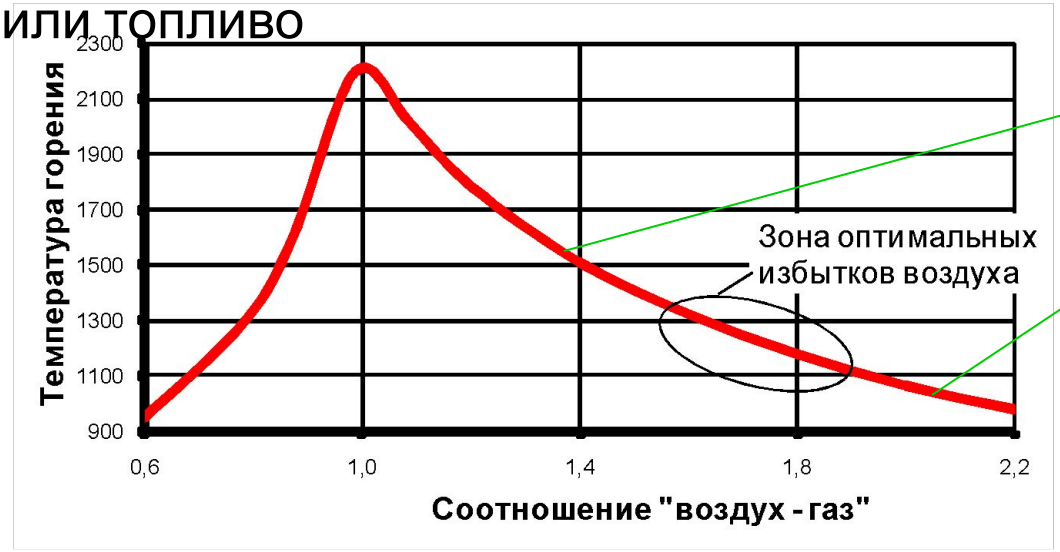

На газовую турбину MS5002E устанавливается система сгорания топлива со сниженным содержанием окислов азота и влаги.

# Метод снижения эмиссии оксидов азота $NO_X$ , примененный на ГПА-32 «Ладога»

Метод:

- регулирование расхода воздуха через камеру сгорания (поддержание **α** = const)

В каждой из шести камер сгорания установлены пять форсунок по которым в зависимости от режима нагружения подается сжатый воздух или топливо




**Зона высокой эмиссии NOx**

**Зона срывных явлений**

$\alpha = G_B/(B \cdot L_0)$

Здесь:

$G_B$ – расход воздуха через камеру

B – расход топлива

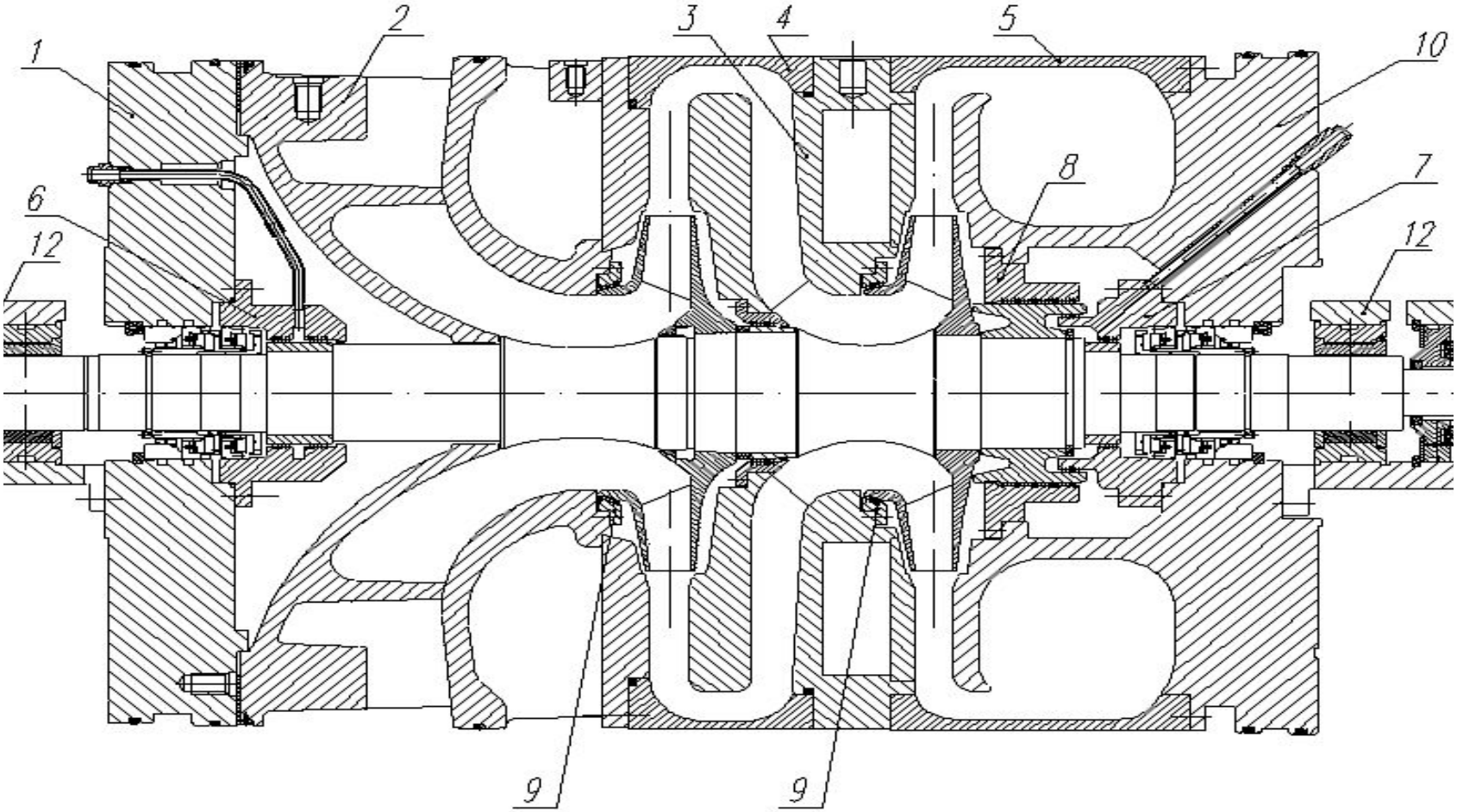
$L_0$ – стехиометрический коэффициент

Характер зависимости температуры факела от коэффициента избытка воздуха **α**

# Выбросы загрязняющих веществ от ГПА-25/76 и ГПА-32 «Ладога»

| Наименование параметра | ГПА-25/76 | ГПА-32 «Ладога» |
|---|---|---|
| Приведенная концентрация оксидов азота, мг/м$^3$ | 305 | 50 |
| Приведенная концентрация оксида углерода, мг/м$^3$ | 485 | 34,7 |
| Мощность выброса оксидов азота, г/с | 25,8 | 3,7 |
| Мощность выброса оксида углерода, г/с | 40,6 | 2,6 |

# Схема нагнетателя ЦС-1,25, 76-32С




1- крышка; 2- камера всасывания; 3- средняя часть; 4, 5 - вставки; 6, 7, 8, 9 – обоймы уплотнения; 10 – нагнетательная часть; 11- ротор; 12 – вкладыш опорный; 13 – вкладыш опорно-упорный.

# Результаты расчета основных эксплуатационных затрат на работу ГПА

| Показатели | I вариант | II вариант | III вариант |
|---|---|---|---|
| Годовой расход ТГ, млн.м³ | 228,9 | 158,24 | 171,46 |
| Стоимость израсходованного топливного газа, млн. руб./год | 907,13 | 627,11 | 679,5 |
| Стоимость израсходованного буферного газа, млн. руб./год | 0 | 2,082 | 1,38 |
| Стоимость безвозвратных потерь турбинного масла на уплотнениях, млн. руб./год | 9,219 | 0 | 2,049 |
| Стоимость израсходованного пускового газа, млн. руб./год | 0,078 | 0 | 0,026 |
| Стоимость израсходованной электроэнергии на систему пуска ГПА, млн. руб./год | 0 | 0,019 | 0,01 |
| Плата за выбросы загрязняющих веществ, млн. руб./год | 0,286 | 0,067 | 0,112 |

# Оценка экономической эффективности установленных ГПА-32 «Ладога» по методу срока жизненного цикла Р Газпром 2-3.5-281-2008

$$З_{СЖЦ} = К + \sum_{t=1}^{T} \alpha_t \cdot З \cdot И^t$$

где Зсжц – срок жизненного цикла;

К – капитальные затраты, тыс. руб.;

Т – срок жизненного цикла, лет;

t – расчетный шаг, лет;

α– коэффициент дисконтирования;

З – годовые эксплуатационные затраты;

И – коэффициент инфляции.

Годовые эксплуатационные затраты вычисляют по формуле:

$$З = З_{ПГ} + З_{ПГ} + З_{БГ} + З_{ТОР} + З_{м} + З_{э} + З_{ЗВ}$$

# Расчет срока жизненного цикла ГПА-32 "Ладога" на КЦ-1 КС «Вавожская»

| Тип ГПА | Срок жизненного цикла по годам, млн. руб. | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** |
| **Компрессорный цех, состоящий из трех ГПА-25/76** | | | | | | | | | | |
| ГПА-25/76 | 984 | 1827 | 2633 | 3406 | 4147 | 4856 | 5536 | 6187 | 6810 | 7408 |
| **Компрессорный цех, состоящий из двух ГПА-32 "Ладога"** | | | | | | | | | | |
| ГПА-32 "Ладога" | 1543 | 2121 | 2674 | **3205** | 3713 | 4199 | 4666 | 5112 | 5540 | 5950 |
| **Компрессорный цех, состоящий из одного ГПА-25/76 и двух ГПА-32 "Ладога"** | | | | | | | | | | |
| ГПА-25/76 | 230 | 459 | 686 | 912 | 1137 | 1360 | 1581 | 1801 | 2020 | 2237 |
| ГПА-32 "Ладога" | 1372 | 1786 | 2183 | 2563 | 2927 | 3276 | 3610 | 3931 | 4237 | 4531 |
| Суммарно | 1603 | 2245 | 2870 | 3476 | **4064** | 4636 | 5192 | 5732 | 6257 | 6768 |