

**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

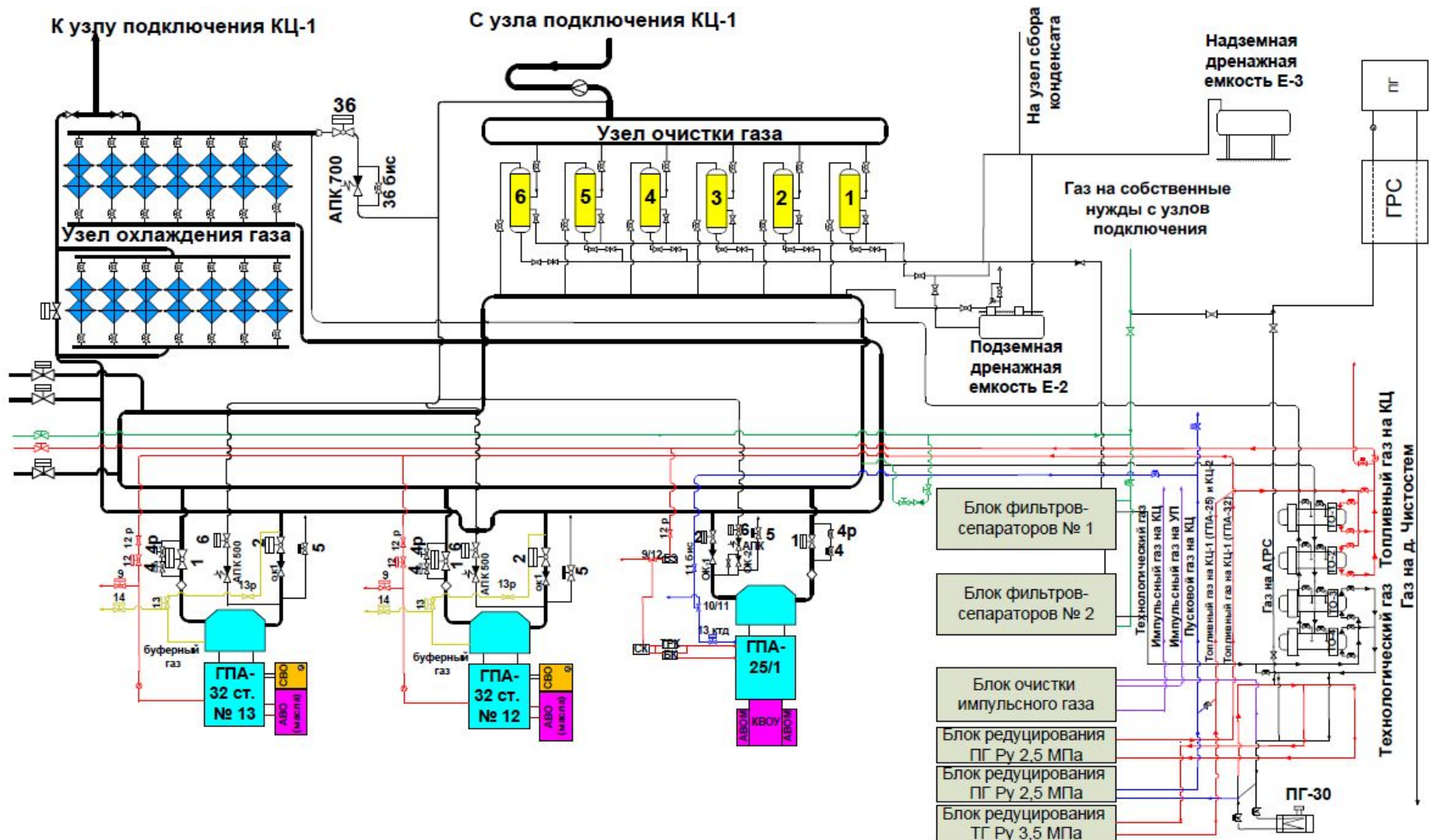
## КС «Вавожская»



# 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°C)	0,562 кг/м <sup>3</sup>
Теплотворная способность	7898 кДж/м <sup>3</sup>
Удельная теплота сгорания (при 20°C)	33080 кДж/м
Молярная масса смеси	16,248 кг/кмоль
Газовая постоянная смеси	511,703 Дж/кг·К
Плотность смеси	0,6754 кг/м <sup>3</sup>
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 <sup>3</sup> /сутки
Мощность, потребляемая (на муфте турбины)	25,5 МВт

# Основные недостатки ГПА-25/76

- низкий КПД – 27,5 %
- значительное потребление 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.



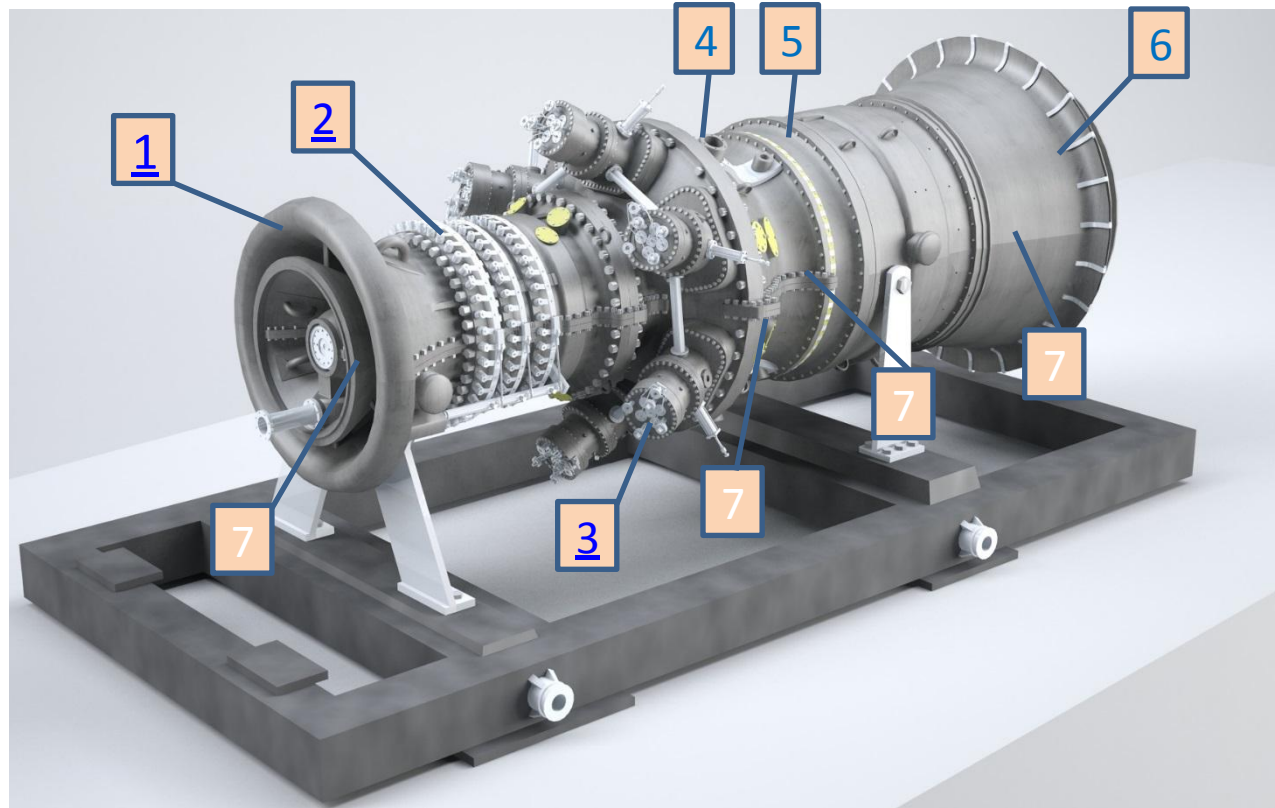
# Характеристика агрегата ГПА-32 «Ладога»

Параметры	Значения
Серия модели газовой турбины	MS5002E
Назначение	привод нагнетателя
Вращение вала	против часовой стрелки
Скорость вращения вала	48 с <sup>-1</sup> (мин) – 100 с <sup>-1</sup> (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 <sup>3</sup> /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

Торцевая  
крышка

Передний корпус

Задний корпус

Переходно  
й патрубок

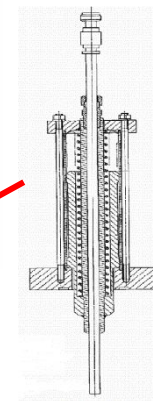
Элемент  
ы  
топливо-  
подвода

Горелки

Экра  
н

Жаровая труба

Свеча  
зажигания



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

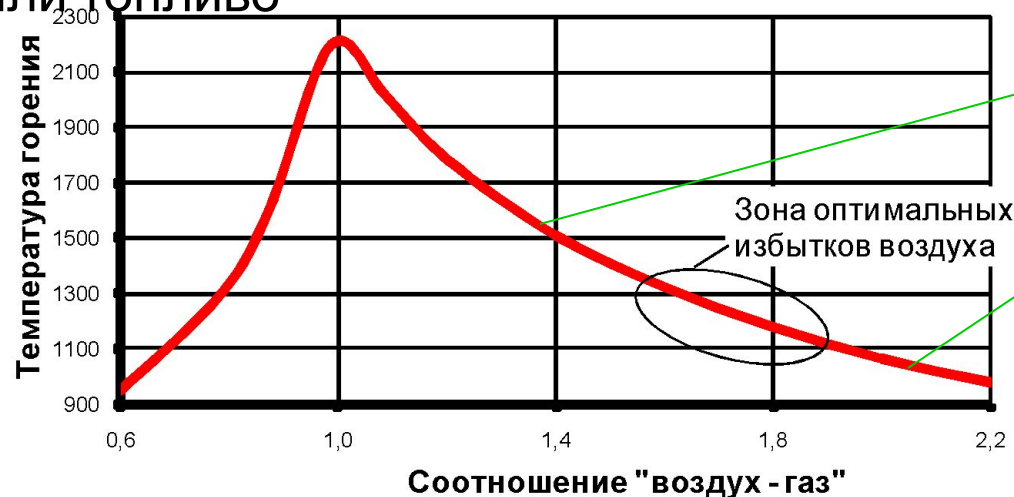
# Метод снижения эмиссии оксидов азота $\text{NO}_x$ , примененный на ГПА-32 «Ладога»

Метод:

- регулирование расхода воздуха через камеру сгорания (поддержание  $\alpha = \text{const}$ )

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

ИЛИ ТОПЛИВО



Зона высокой эмиссии  $\text{NO}_x$

Зона срывных явлений  
 $\alpha = G_V / (B \cdot L_0)$

Здесь:

$G_V$  – расход воздуха через камеру

$B$  – расход топлива

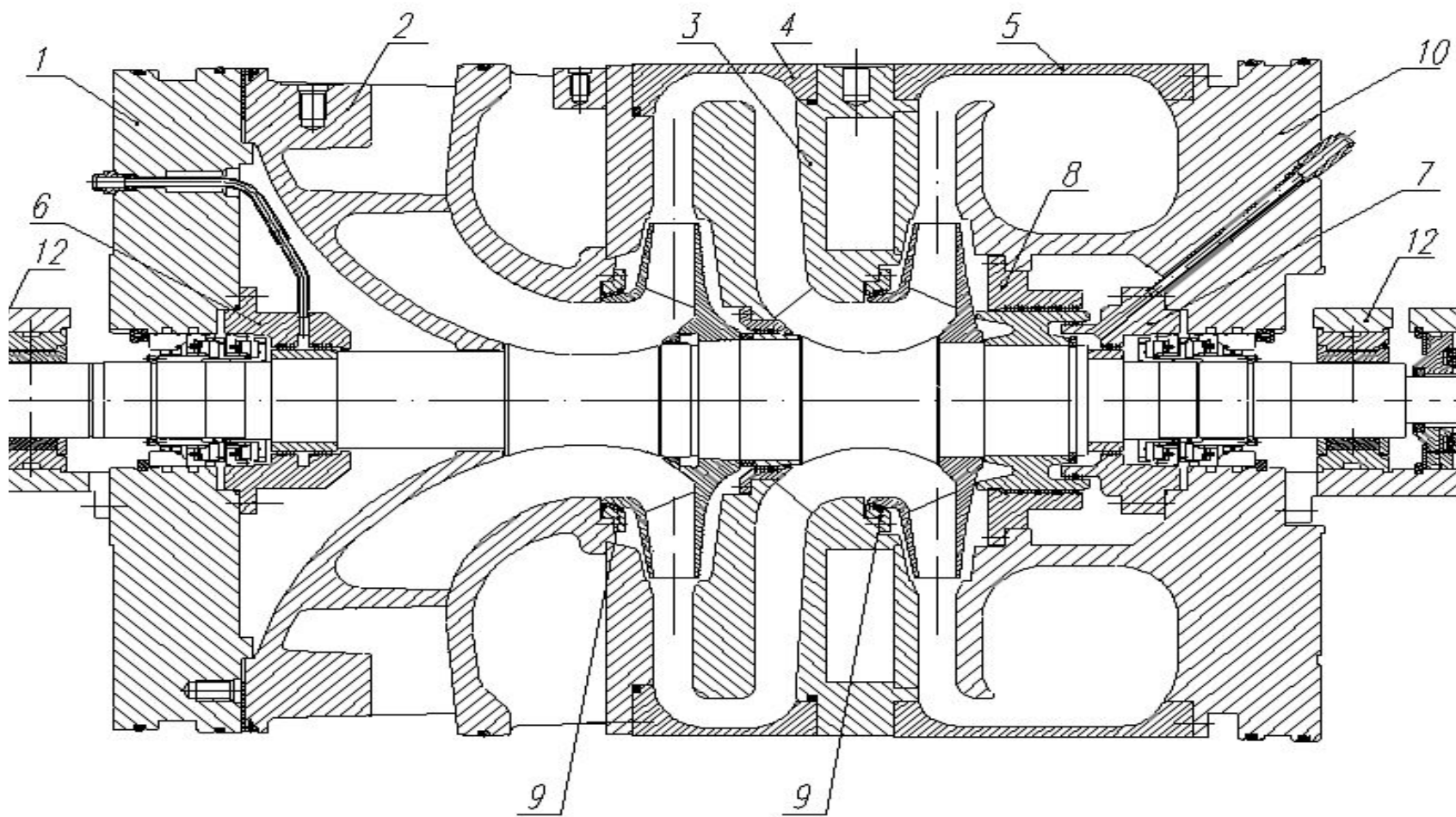
$L_0$  – стехиометрический коэффициент

Характер зависимости температуры факела от коэффициента избытка воздуха  $\alpha$

# 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 <sup>3</sup>	305	50
Приведенная концентрация оксида углерода, мг/м <sup>3</sup>	485	34,7
Мощность выброса оксидов азота, г/с	25,8	3,7
Мощность выброса оксида углерода, г/с	40,6	2,6

# 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.м <sup>3</sup>	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

$$Z_{\text{СЖЦ}} = K + \sum_{t=1}^T \alpha_t \cdot Z \cdot I^t$$

где  $Z_{\text{СЖЦ}}$  – срок жизненного цикла;  
 $K$  – капитальные затраты, тыс. руб.;  
 $T$  – срок жизненного цикла, лет;  
 $t$  – расчетный шаг, лет;  
 $\alpha$  – коэффициент дисконтирования;  
 $Z$  – годовые эксплуатационные затраты;  
 $I$  – коэффициент инфляции.

Годовые эксплуатационные затраты вычисляют по формуле:

$$Z = Z_{\text{ПГ}} + Z_{\text{ПП}} + Z_{\text{БГ}} + Z_{\text{ТОР}} + Z_{\text{М}} + Z_{\text{Э}} + Z_{\text{ЗВ}}$$



# 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
<b>Компрессорный цех, состоящий из трех ГПА-25/76</b>										
ГПА-25/7 6	984	1827	2633	3406	4147	4856	5536	6187	6810	7408
<b>Компрессорный цех, состоящий из двух ГПА-32 "Ладога"</b>										
ГПА-32 "Ладога"	1543	2121	2674	<b>3205</b>	3713	4199	4666	5112	5540	5950
<b>Компрессорный цех, состоящий из одного ГПА-25/76 и двух ГПА-32 "Ладога"</b>										
ГПА-25/7 6	230	459	686	912	1137	1360	1581	1801	2020	2237
ГПА-32 "Ладога"	1372	1786	2183	2563	2927	3276	3610	3931	4237	4531
Суммарн о	1603	2245	2870	3476	<b>4064</b>	4636	5192	5732	6257	6768