

*Рассмотрены подходы, связанные с созданием проекта модернизированного газотурбинного двигателя для газоперекачивающего агрегата мощностью 20 МВт, выполненного на базе ГТД для ГПА мощностью 10 МВт. Приведены параметры, как исходного двигателя, так и машины с новой проточной частью, спроектированной с помощью 3-D программного комплекса*

*Ключевые слова: модернизация, газоперекачивающий агрегат, мощность*

*The approaches connected with creation of the project modernized gas-turbine engine for gas-compressing unit of the unit by capacity power 20 MWt, executed on the basis of GTE for transportation unit of gas by power 10 MWt are considered. Parameters both the initial engine, and the machine with the new flowing part designed by means of 3-D of a program complex are resulted*

*Keyword: modernization, gas-compressor unit, capacity*

# МОДЕРНИЗАЦИЯ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ ДР59Л ДЛЯ ГАЗО- ПЕРЕКАЧИВАЮЩЕГО АГРЕГАТА ГПА–10

**В.Е. Беляев**

Доктор технических наук, главный конструктор\*

**С.О. Беляева**

Кандидат технических наук, начальник отдела\*  
\*«ММПП «Салют»  
г. Москва, Россия

**В.А. Коваль**

Доктор технических наук, координатор  
НТЦ прогрессивных технологий НАН Украины  
г. Харьков, Украина

**Е.А. Ковалева**

Аспирант  
Институт проблем машиностроения им.А.Н. Подгорного  
г. Харьков, Украина

С середины семидесятых годов на базе двигателя М-8Е был спроектирован газоперекачивающий агрегат ГПА-10 мощностью 10 МВт. В агрегате ГПА-10 используется двигатель ДР59 (промышленная версия корабельного двигателя ДЕ59) с КПД 28%, а КПД ГТД в стационарном варианте составляет примерно 26%. Сейчас таких установок насчитывается около 700. Все машины подходят к рубежу назначенного ресурса 100 000 часов и должны быть заменены. Следует отметить, что данные двигатели устаревают по тактико-техническим характеристикам в сравнении с мировыми аналогами, но обладают большим потенциалом для модернизации.

ФГУП ММПП «Салют» предлагается вариант модернизации двигателя ДР59 на мощность 20 МВт с КПД 35%.

В настоящее время двигатели ДР59 работают парами, осуществляя последовательно повышение давле-

ния газа в газопроводе. Соответствующие нагнетатели имеют мощность 10 МВт. ФГУП ММПП «Салют» предлагает установить вместо двух двигателей по 10 МВт один – 20 МВт, изменив проточную часть нагнетателя.

Такой проект не требует кардинальной реконструкции станции.

ехнико-экономическая оценка свидетельствует о том, что замена двух агрегатов на один агрегат большей единичной мощности в общем машинном зале является перспективным вариантом в плане экономического эффекта [1].

Газотурбинный двигатель для привода газоперекачивающих агрегатов ГПА-10 включает в себя компрессор низкого давления (КНД), компрессор высокого давления (КВД), камеру сгорания (КС), турбину высокого давления (ТВД), турбину низкого давления (ТНД), турбину нагнетателя (ТН) (рис. 1).

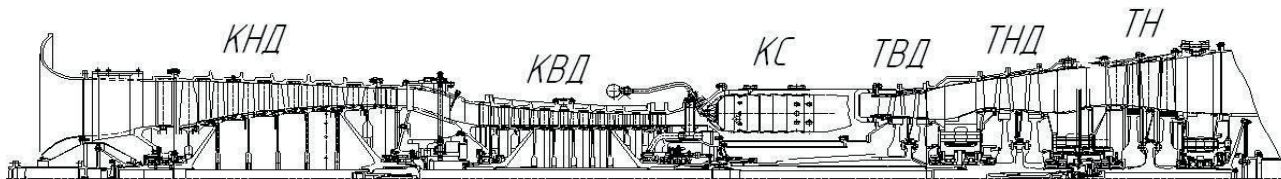


Рис. 1. Конструктивная схема приводного ГТД

Единый термодинамический рабочий процесс в ГТД осуществляется за счет газодинамической связи между роторами.

Недостатком приводного двигателя ГПА-10 является его низкая экономичность: КПД ГТД на режиме 10 МВт составляет 26,6%.

Задачей модернизации двигателя является усовершенствование конструкции ГТД за счет изменения лопаточных венцов и проточной части КНД, КВД, ТВД, ТНД, вновь спроектированной турбины нагнетателя на базе нового термодинамического цикла ГТД (см. табл. 1), что позволяет существенно увеличить КПД (на 8,4%) и мощность ГТД.

Таблица 1

Сравнительный анализ параметров термодинамического цикла

Наименование	ГТД ДР-59	Модернизированный ГТД
Температура газа перед ТВД, К	1013	1236
Суммарная степень повышения давления	10,4	18
Мощность ГТД, кВт	10000	21400
КПД ГТД, %	26,6	35,0

Расчеты аэродинамики трехмерного вязкого течения в КНД, КВД, ТВД, ТНД проводилось с помощью программного комплекса FlowER, в котором реализовано решение уравнений Навье-Стокса, что позволило существенно сократить объем дорогостоящих натурных экспериментов, заменив их численными.

На рис. 2 показана визуализация течения воздуха в исходном КНД ДР59. Расчеты выполнены на режиме, близком к номинальному при следующих параметрах:  $G_{в пр} = 88 \text{ кг/с}$ ;  $n_{пр} = 5550 \text{ об/мин}$ ;  $\pi_k^* = 3,3$ ;  $\eta_{ад}^* = 0,86$ .

Анализ распределения степени повышения полного давления по ступеням в исходном КНД выявил резкое уменьшение работы сжатия во второй ступени. Это, по всей видимости, связано с так называемым демпфированием потока, которое конструкторы в 50-60 годах иногда вводили в практику проектирования компрессоров, в котором в настоящее время отпала необходимость.

Обращает на себя внимание наличие развитых срывных явлений на периферии рабочих лопаток 1, 3, 4, 5 ступеней.

При модернизации КНД ДР59 предлагается новая рабочая лопатка 2-ой ступени, утонение лопаточных венцов 1, 3, 4, 5, 6, 7 ступеней с реализацией увеличенного угла изгиба профиля (исходные лопатки используются как заготовки для модернизированных лопаток).

В результате модернизации КНД увеличивается расход воздуха через компрессор до 96 кг/с, степени повышения полного давления с 3,28 до 3,88. Визуализация течения рабочего тела в виде изолиний числа М в проточной части модернизированного КНД показана на рис. 3.

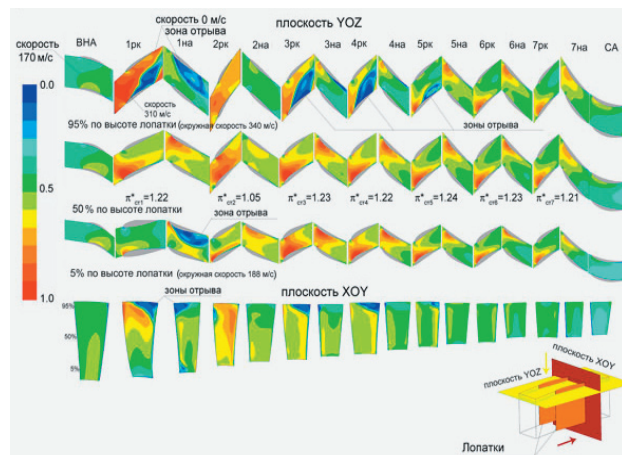


Рис. 2. Визуализация течения в проточной части исходного КНД ГТД ДР59Д

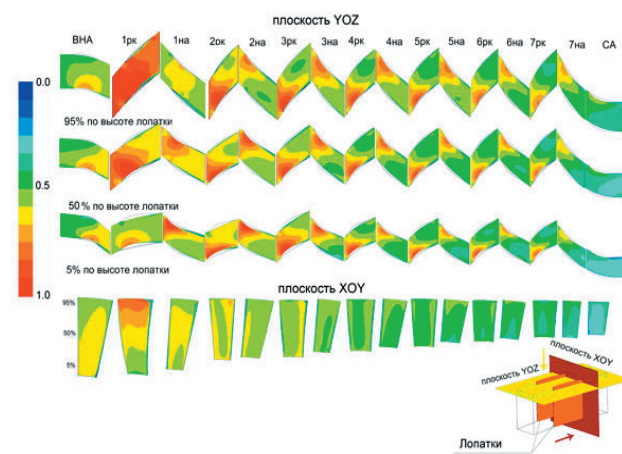


Рис. 3. Визуализация течения в проточной части модернизированного КНД ГТД ДР59Д

Здесь режим работы соответствует следующим параметрам:  $G_{в ф} = 98,6 \text{ кг/с}$ ;  $n_{ф} = 6100 \text{ об/мин}$ ;  $\pi_k^* = 4,0$ ;  $\eta_{ад}^* = 0,89$ . Анализ картины течения в лопаточных венцах свидетельствует об отсутствии отрывных течений.

Картина течения в виде изолиний числа М в проточной части исходного КВД ГТД ДР59Л показана на рис.4 при следующих режимных параметрах:  $G_{в пр} = 32,0 \text{ кг/с}$ ;  $n_{пр} = 6260 \text{ об/мин}$ ;  $\pi_k^* = 3,35$ ;  $\eta_{ад}^* = 0,864$ .

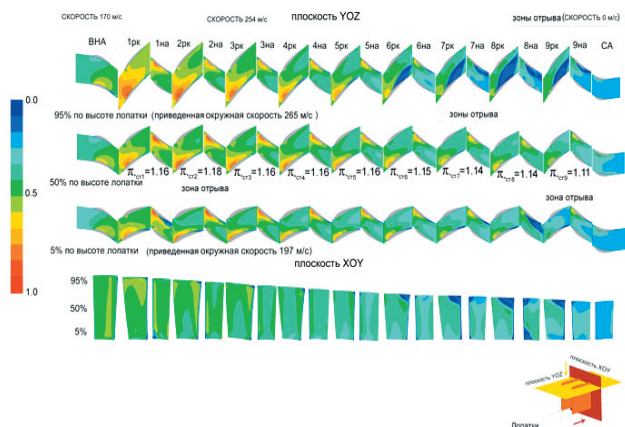


Рис. 4. Визуализация течения в проточной части исходного КВД ГТД ДР59Д

Обращает на себя внимание наличие развитых срывных явлений в области периферии рабочих лопаток 6, 7, 8, 9 ступеней и, как следствие, отрывов потока в направляющих лопатках этих же ступеней.

При модернизации КВД ДР59 предлагается утонение лопаточных венцов всех ступеней с реализацией увеличенного угла изгиба профилей (исходные лопатки используются как заготовки для модернизированных лопаток).

В результате модернизации КВД при увеличенном расходе воздуха степень повышения полного давления возрастает с 3,17 до 4,67. Визуализация течения в проточной части модернизированного КВД виде изолиний числа М представлена на рис. 5. Здесь режим работы компрессора соответствует следующим параметрам:  $G_{в пр} = 31,1$  кг/с;  $n_{пр} = 6460$  об/мин;  $\pi_k^* = 3,32$ ;  $\pi_{ад}^* = 0,868$ .

Обращает на себя внимание отсутствие зон отрыва потока в лопаточных венцах практически во всех сечениях.

Следует отметить, что проектирование проточной части компрессора выполнялось при условии сохранения максимального количества основных деталей – дисков и корпусных элементов.

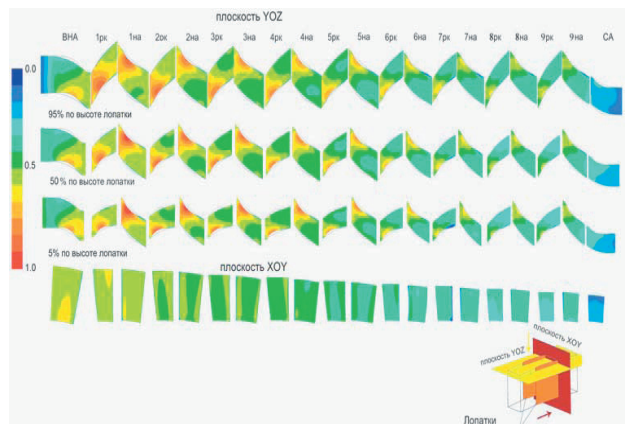


Рис. 5. Визуализация течения в проточной части модернизированного КВД ГТД ДР59Д

При такой модернизации проточной части КНД и КВД суммарная степень повышения давления составляет 18, а расход воздуха через компрессор – 96 кг/с.

Параметры газового потока компрессорной части нового и исходного двигателя приведены в табл. 2.

Таблица 2

Сравнительный анализ параметров исходного и нового компрессоров

Наименование	ГТД ДР-59		Модернизированный ГТД	
	КНД	КВД	КНД	КВД
$G_{в ф}$ , кг/с	81,99	81,68	96,00	95,00
$G_{в ф}$ , кг/с	85,40	31,31	96,00	30,60
$P_B^*$ , кг/см <sup>2</sup>	0,992	3,250	1,033	3,970
$\pi_k^*$	3,277	3,173	3,880	4,670
$\Delta T$ , °C	130,8	185,9	154,0	270
КПД компрессора, %	0,89	0,881	0,88	0,86
Мощность, кВт	10924,5	15473,3	14800,0	26900,0
$n_{ф}$ , об/мин	5550	7540	6100	8000
$n_{пр}$ , об/мин	5550	6260	6100	6460

С целью получения максимально возможного КПД лопаточных венцов ТВД, ТНД, ТН также выполнена оптимизация и перепрофилирование лопаточных аппаратов турбин. Параметры газового потока по турбинной части модернизированного и базового двигателя приведены в табл. 3.

Таблица 3

Наименование	ГТД ДР-59		Модернизированный ГТД	
	ТВД	ТНД	ТВД	ТНД
$G_{Г СА}$ , кг/с	79,70	81,26	89,2	94,0
$G_{Г РК}$ , кг/с	80,24	81,27	91,5	94,3
Давление на входе, кг/см <sup>2</sup>	9,898	4,455	17,8	6,38
$\pi_T^*$	2,211	1,931	2,79	1,92
$\Delta T$ , °C	166,6	116,2	237	132
КПД турбины, %	0,916	0,911	0,91	0,92
Мощность, кВт	15473,3	10924,5	27000,0	14900,0

Общий вид проточной части модернизированного двигателя ДР59Л показан на рис.6, где синим цветом обозначены детали исходного ГТД и нагнетателя 370-18-1. Ротор свободная турбина выполнен единым блоком, установленным на магнитных подшипниках. Подшипники качения ДР59Л заменены подшипниками скольжения с использованием масла ТП-22С. В процессе модернизации двигателей семейства М8 предусмотрены варианты машин с увеличенными показателями, которые достигаются за счет повышения давления и температуры термодинамического цикла, а именно:

- $N = 20$  МВт;  $T_T = 1243K$ ;  $\pi_k = 24$ ;  $G_B = 108$  кг/с;  $KПД_{ГТД} = 38\%$ .
- $N = 25$  МВт;  $T_T = 1323K$ ;  $\pi_k = 27$ ;  $G_B = 115$  кг/с;  $KПД_{ГТД} = 40\%$ .
- $N = 30$  МВт;  $T_T = 1403K$ ;  $\pi_k = 30$ ;  $G_B = 125$  кг/с;  $KПД_{ГТД} = 42\%$ .

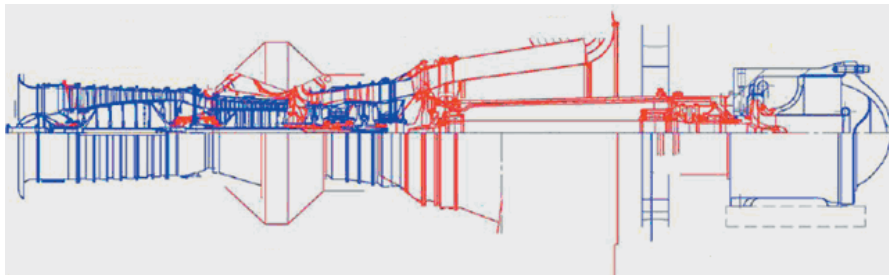


Рис. 6. Общий вид проточной части модернизированного ГТД ДР59Л и нагнетателя

При этом предусматривается доработка лопаточных аппаратов в плане повышения их нагруженности и КПД компрессора на уровне 89%.

Указанные выше мероприятия по модернизации ГТД семейства М8 позволит уменьшить себестоимость новых изделий на 30...50%.

#### Литература

1. В. Щуровский. Новое поколение ГТУ для магистральных газопроводов// Газотурбинные технологии. – Рыбинск. – 1999, июль-август. – С.8-13.

УДК 621.438.004.15

## ВЫСОКО-ЭФФЕКТИВНЫЙ ГАЗОТУРБИННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ МОЩНОСТЬЮ 1 МВт

**В.Е. Беляев**

Доктор технических наук, главный конструктор\*

**С.О. Беляева**

Кандидат технических наук, начальник отдела\*  
\*«ММП «Салют»  
г. Москва, Россия

**В.А. Коваль**

Доктор технических наук, координатор  
НТЦ прогрессивных технологий НАН Украины  
г. Харьков, Украина

**Е.А. Ковалева**

Аспирант  
Институт проблем машиностроения им.А.Н. Подгорного  
г. Харьков, Украина

*Рассмотрены особенности схемы и конструкции, а также назначение малоразмерного двигателя мощностью 1000 кВт, предназначенного для работы в составе блочной газотурбинной электростанции и в качестве силовой установки маневренного тепловоза. Приведены эксплуатационные характеристики машины в широком диапазоне температур окружающей среды.*

*Ключевые слова: двигатель, электростанция, мощность, эффективность*

*Features of the scheme and design, and also assignment the little-size engine by capacity of 1000 kw, intended for work in structure of block gas-turbine power stations and as a power-plant of a maneuverable locomotive are considered. Operational characteristics of the machine in a wide range of ambient temperatures are brought.*

*Keyword: engine, power plant, capacity, efficiency*

На сегодня является очевидным факт перспективности разработки и внедрения проектов, так называемой, локальной энергетики, в виде ТЭС средней и малой мощности.

Это связано, в первую очередь, со следующими обстоятельствами:

- потери электроэнергии, транспортируемой по ЛЭП среднего и низкого напряжения на расстояние