

КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВОЗДУШНО-ТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

©2016 Д.Г. Федорченко¹, Ю.И. Цыбизов¹, Д.Д. Тюлькин¹, А.Ю. Ткаченко²

¹АО «Металлист-Самара», г. Самара

²Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

CONCEPTUAL DESIGN OF THE AIR TURBINE ENGINE

Fedorchenko D.G., Tsibizov Yu.I. (JSC "Metallist-Samara", Samara, Russian Federation),
Tyulkin D.D., Tkachenko A.Yu. (Samara National Research University, Samara, Russian Federation)

The article describes the research of the air turbine engine cycle. The study deals with schemes and parameters of air turbine engine, which is powered by heat recovery of gas turbine power plant exhaust and intended for electric power supplying.

Рассматривается возможность создания воздушно-турбинного двигателя (ВТД) мощностью 150 кВт, работающего за счёт утилизации тепла уходящих выхлопных газов основной газотурбинной установки (ГТУ), служащей приводом нагнетателя газоперекачивающего агрегата.

Исследованы три схемы ВТД применительно к ГПА с двигателем НК-16СТ:

- с подводом тепла к рабочему телу от продуктов сгорания ГТУ в рекуперативном воздухоподогревателе (ВТДр) (рис. 1);

- с эжектированием продуктов сгорания ГТУ воздухом, поступающим из компрессора ВТД, и дальнейшей подачей смеси в турбину (ВТДэ) (рис. 2);

- комбинированная – с предварительным подогревом активного воздуха, поступающего из компрессора в эжектор (ВТДк) (рис. 3).

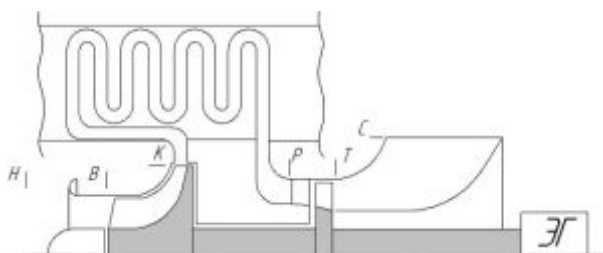


Рис. 1. Расчётная схема ВТД с рекуперативным воздухоподогревателем (ВТДр)

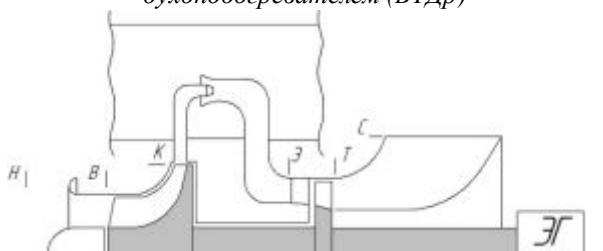


Рис. 2. Расчётная схема ВТД с эжектором (ВТДэ)

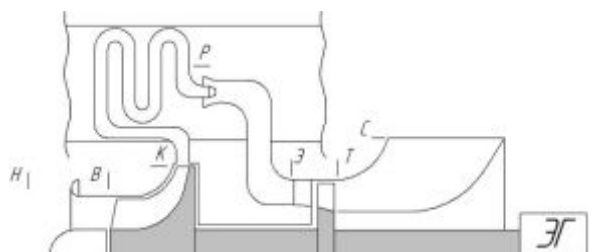


Рис. 3. Расчётная схема ВТД с рекуперативным воздухоподогревателем и эжектором (ВТДк)

Параметры рабочего тела рассчитываются в сечениях

- перед двигателем [Н];
- на входе в компрессор [В];
- на выходе из компрессора [К];
- на выходе из теплообменника [Р];
- на выходе из эжектора [Э];
- на выходе из турбины [Т].

Схема ВТДр реализует цикл с внешним подводом теплоты. Избыточная мощность турбины используется для привода генератора электроэнергии. За счёт умеренной температуры источника тепла, $T_r^* < 700$ К, оптимальная степень повышения давления составила величину $\pi_k^* = 2,3$. Потребный расход воздуха, обеспечивающий выработку 150 кВт электроэнергии на расчётном режиме при $t_n = -30^\circ\text{C}$ и при степени рекуперации тепла в теплообменнике $\theta = 0,8$, равен 8,3 кг/с.

Величина вырабатываемой мощности ВТДр зависит от температуры и давления атмосферного воздуха, температуры продуктов сгорания за свободной турбиной основной ГТУ, а также от доли мощности, отбираемой от турбокомпрессора на привод элект-

трогенератора. Изменение вырабатываемой электрической мощности в зависимости от частоты вращения турбокомпрессора при различных температурах атмосферного воздуха представлены на рис. 4. Недостатком ВТДр является большая потребная площадь теплообмена и, следовательно, габариты рекуперативного воздухоподогревателя.

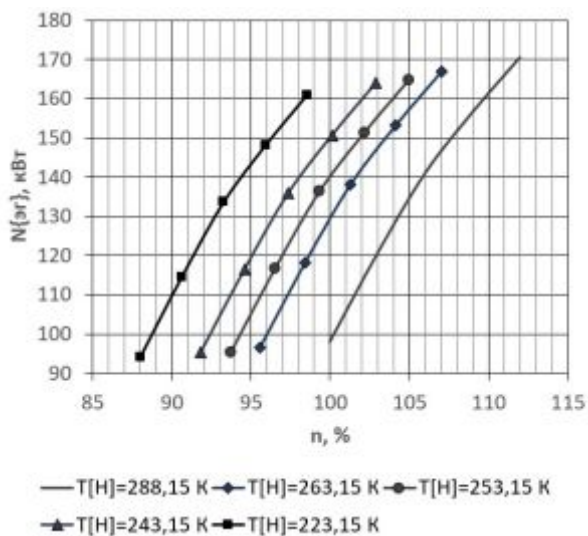


Рис.4. Климатические характеристики ВТДр

Вторая схема ВТД – ВТД с эжектированием потока – обладает более простой конструкцией по сравнению с ВТДр. Однако, результаты расчётных исследований показали наличие ограничения области возможного применения данной схемы для преобразования тепла выхлопных газов в электроэнергию. Несмотря на то, что смесь воздуха и продуктов сгорания, поступающие из эжектора в турбину, обладает более высокими значениями расхода и внутренней энергии по сравнению с воздухом, выходящим из компрессора, её давление получается существенно ниже, что при низких значениях температуры выхлопных газов ГТУ это оказывает преобладающее влияние на величину вырабатываемой мощности.

Снизить габариты рекуперативного воздухоподогревателя и одновременно обеспечить достаточную величину избыточной мощности на валу турбокомпрессора можно за счёт комбинирования первой и второй схем ВТД (рис. 3). Подогрев воздуха, посту-

пающего из компрессора ВТДк, перед тем, как подать его в эжектор, обеспечивает, в том числе, увеличение его динамического импульса. При этом становится возможным увеличение полного давления рабочего тела, выходящего из эжектора, перепада давления на турбине и её мощности до требуемого уровня.

Результаты проектного расчёта ВТДк при $t_n = +15^\circ\text{C}$ и расчёта его климатических характеристик представлены в табл. 1.

Таблица 1 - Результаты проектного расчёта и расчёта климатических характеристик ВТДк

Параметр	Значения			
	288	273	263	243
$T^*[Н]$, К	288	273	263	243
$p^*[Н]$, кПа	101,3	101,3	101,3	101,3
$G[B]$, кг/с	10,9	11,4	11,8	12,6
$\Pi^*\{к\}$	1,35	1,37	1,38	1,41
$\eta^*\{к\}$	0,83	0,83	0,83	0,83
$L\{к\}$, кДж/кг	31,22	30,89	30,92	30,47
$N\{к\}$, кВт	339,2	351,8	364,6	383,0
n , %	100	100	100	100
$T^*[K]$, К	319	304	294	274
$p^*[K]$, кПа	136,8	138,5	140,1	143,0
$\sigma\{то\}$	0,97	0,97	0,97	0,97
$\theta\{рег\}$	0,45	0,45	0,45	0,45
$T^*\{газ\}$, К	685	651,4	629	584
$T^*[P]$, К	484	460	445	413
$p^*[P]$, кПа	132,7	134,4	135,9	138,7
$T^*[\mathcal{E}]$, К	602	573	553	514
$p^*[\mathcal{E}]$, кПа	114,6	115,1	115,5	116,2
$G[\mathcal{E}]$, кг/с	26,1	27,4	28,4	30,5
$\Pi^*\{T\}$	1,13	1,135	1,14	1,146
$\eta^*\{T\}$	0,92	0,92	0,92	0,92
$L\{T\}$, кДж/кг	19,13	18,78	18,65	18,11
$N\{T\}$, кВт	498,8	514,4	530,5	553,2
$N\{\mathcal{E}T\}$, кВт	150,0	152,8	155,8	159,8

Таким образом, в результате проведённых исследований определены возможные схемы и параметры рабочего процесса воздушно-турбинного двигателя, обеспечивающего выработку 150 кВт электроэнергии за счёт утилизации тепла уходящих выхлопных газов газотурбинной установки.