

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

**Исследование совместной работы узлов
турбовинтового двигателя и его
характеристик с помощью
автоматизированной системы «АСТРА»**

САМАРА 2011

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

Исследование совместной работы узлов турбовинтового двигателя и его характеристик с помощью автоматизированной системы «АСТРА»

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве методических указаний*

С А М А Р А
Издательство СГАУ
2011

УДК СГАУ: 629.7.036

Составители: В.В. Кулагин, В.С. Кузьмичев, И.Н. Крупенич,
А.Ю. Ткаченко, В.Н. Рыбаков

Рецензент:

Исследование совместной работы узлов турбовинтового двигателя и его характеристик с помощью автоматизированной системы «АСТРА» : эл. метод. указания / сост. В.В. Кулагин, В.С. Кузьмичев, И.Н. Крупенич, А.Ю. Ткаченко, В.Н. Рыбаков. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2011. – 12 с.: ил.

В методических указаниях изложены содержание и методика проведения лабораторной работы по курсу «Теория, расчет и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок». Основное внимание при выполнении лабораторной работы уделяется анализу результатов и выводам, которые делаются студентами самостоятельно. Обязательным условием успешного проведения лабораторных работ является предварительная самостоятельная подготовка студентов. Для этого необходимо ознакомление с данными методическими указаниями и изучение соответствующих разделов курса по лекциям и рекомендованной литературе.

Указания предназначены для студентов II факультета, обучающихся по специальности 130200.

1. СОВМЕСТНАЯ РАБОТА УЗЛОВ И ОБОБЩЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОДНОВАЛЬНОГО ТВД

Одновальный ТВД с воздушным винтом имеет два управляющих фактора: расход топлива и угол установки лопастей винта φ_v . При изменении φ_v изменяется мощность N_e , необходимая для вращения винта, и, соответственно, коэффициент отбора мощности $\eta_{отб} \approx 1 - N_e/N_T$ (см. разд. 10.3.3 [1]), который входит в уравнение совместной работы узлов газогенератора (10.7) [1].

Если $\varphi_v = 0$, то потребляемая винтом мощность близка к нулю, коэффициент отбора мощности $\eta_{отб} \approx 1$ и закономерности совместной работы узлов одновального ТВД по существу не отличаются от закономерностей совместной работы узлов одновального газогенератора, подробно рассмотренных в разд. 11.1.1 [1]. Если φ_v увеличивается, то коэффициент отбора мощности снижается, правая часть уравнения (10.7) [1] уменьшается при $\pi_k^* = const$, что ведет к снижению $q(\lambda_v)$ и, следовательно, к снижению приведенного расхода воздуха $G_{в.пр}$ (11.9) [1]. Рабочая точка на характеристике компрессора смещается влево к границе помпажа (рис. 1). Каждому значению φ_v ($\eta_{отб}$) соответствует определенное положение линии совместной работы на характеристике компрессора.

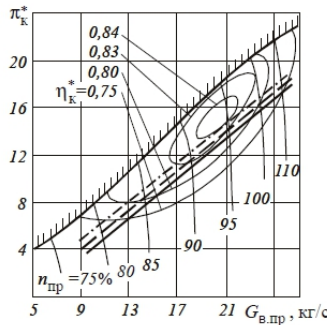


Рис.1 — Влияние φ_v на положение линии совместной работы:

- — — — — $\varphi_v = 0$;
- - - - - $\varphi'_v > 0$;
- · - · - $\varphi''_v < \varphi'_v$

Кроме того, положение линии совместной работы при $\eta_{\text{отб}} = \text{const}$ зависит от числа $M_{\text{п}}$ вследствие того, что турбовинтовые двигатели работают при докритическом истечении газа из сопла. Изменение числа $M_{\text{п}}$ и, следовательно, суммарной степени повышения давления рабочего тела приводит в этих условиях к изменению степени понижения давления газа в турбине (см. разд. 10.2 и 10.5 [1]), а величина $\pi_{\text{т}}^*$ входит в уравнение совместной работы узлов газогенератора (10.7) [1].

Проведем физический анализ влияния угла установки винта при $n = \text{const}$ на положение рабочей точки на характеристике компрессора и основные данные одновального ТВД. С увеличением $\varphi_{\text{в}}$ повышается потребляемая мощность винта, а сумма мощностей винта и компрессора становится больше располагаемой мощности турбины. Из условия обеспечения баланса мощности увеличивается расход топлива $G_{\text{т}}$ и, соответственно, температура газа перед турбиной. Вследствие увеличения степени подогрева газа $T_{\text{г}}^*/T_{\text{к}}^*$ снижается пропускная способность камеры сгорания (10.3) [1] и повышается давление $p_{\text{к}}^*$, т.е. степень повышения давления в компрессоре $\pi_{\text{к}}^*$ (10.4) [1]. Рабочая точка на характеристике смещается к границе помпажа. Увеличение суммарной степени повышения давления в двигателе ведет к увеличению $\pi_{\text{т}}^*$ и $\pi_{\text{с.р}}$. Работа и мощность турбины увеличиваются благодаря повышению не только $T_{\text{г}}^*$, но и $\pi_{\text{т}}$. Удельный расход топлива ТВД снижается, так как увеличение $T_{\text{г}}^*$ и $\pi_{\text{к}}^*$ приводит к повышению эффективного КПД двигателя.

Итак, положение рабочей точки на характеристике компрессора, все параметры газогенератора и основные данные одновального ТВД при неизменных внешних условиях определяются двумя независимыми переменными. При построении обобщенных характеристик в качестве независимых переменных нецелесообразно по ряду причин принимать управляющие факторы $G_{\text{т}}$ и $\varphi_{\text{в}}$. (В частности потому, что двигатель и винт разрабатываются отдельно: винт не является узлом двигателя – это самолетный агрегат, характеристики которого в процессе доводки двигателя могут быть неизвестны.) Обычно характеристики строят в зависимости от частоты вращения ротора и температуры газа перед турбиной. В этом случае

расчет и построение обобщенных характеристик целесообразно начинать с нанесения линий $T_{г.пр}^* = const$ на характеристику компрессора (10.5). Задаваясь рядом точек на этих линиях, можно рассчитать (см. разд. 14.5 [1]) удельные параметры и основные данные двигателя (рис. 2).

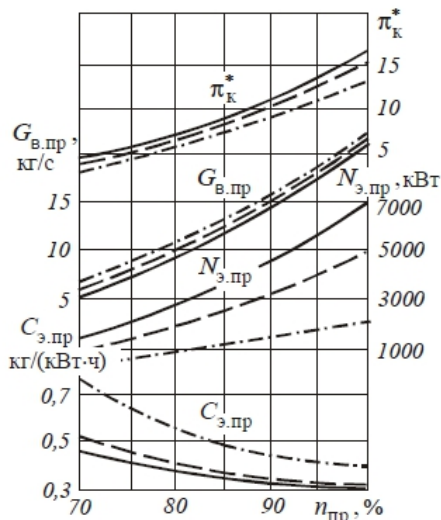


Рис.2 — Обобщенные характеристики одновального ТВД с изменяемым углом установки винта при $M_n=0$:

- — — — — $T_{г.пр}^* = 1700 K$;
- - - - - $T_{г.пр}^* = 1400 K$;
- · - · - $T_{г.пр}^* = 1100 K$

Таким образом, закономерности совместной работы узлов и обобщенные характеристики одновального ТВД при $\varphi_v = var$ аналогичны закономерностям совместной работы узлов и характеристикам одновального ТРД при $F_{с.кр} = var$ (рис. 14.1 и 14.2 сравните соответственно с рис. 13.1 и 13.2). Действительно, увеличение φ_v (как и уменьшение $F_{с.кр}$) приводит к смещению линии совместной работы к границе помпажа, т.е. к уменьшению запасов устойчивой работы компрессора и к увеличению мощности на валу винта (тяги двигателя) при $n = const$. Однако эта аналогия неполная: при увеличении φ_v (снижении $F_{с.кр}$) степень понижения

давления в турбине изменяется противоположно: в первом случае π_T^* увеличивается, а во втором – уменьшается. Кроме того, удельный расход топлива в первом случае снижается, а во втором – повышается.

2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОДНОВАЛЬНОГО ТВД С ПОМОЩЬЮ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ «АСТРА»

Для того, чтобы получить данные необходимые для исследования совместной работы узлов турбовинтового двигателя и его характеристик, студент выполняет расчётный эксперимент с помощью виртуальной модели рабочего процесса одновального ТВД, реализованной в автоматизированной системе термогазодинамического расчёта и анализа АСТРА.

Исходными данными для выполнения расчётов являются:

- температура T_H^* и давление p_H^* атмосферного воздуха;
- коэффициент отбора мощности на привод винта $\eta_{отб}$;
- относительная величина частоты вращения ротора \bar{n} .

Результатами расчётного эксперимента являются:

- тяга двигателя P ;
- эффективная мощность N_e ;
- эквивалентная мощность $N_э$;
- эквивалентный удельный расход топлива $C_э$;
- часовой расход топлива $G_{т.ч}$;
- полная температура рабочего тела в сечении на выходе из компрессора T_K^* ;
- полная температура рабочего тела в сечении на выходе из турбины T_T^* ;
- статическое давление рабочего тела в сечении на входе в компрессор p_B ;
- полное давление рабочего тела в сечении на входе в компрессор p_B^* ;
- полное давление рабочего тела в сечении на выходе из компрессора p_K^* .

3. ЦЕЛЬ, ЗАДАЧИ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Цели лабораторной работы

1. Закрепление и углубление теоретических знаний, полученных при изучении совместной работы узлов, выполненного ТВД и его характеристик (глава 14 учебника [1]).
2. Построение линий совместной работы и, нагрузочной характеристики ТВД.
3. Получение навыков самостоятельного анализа результатов расчетных экспериментов ТВД.

Порядок проведения лабораторной работы

1. Проверка готовности студентов к выполнению лабораторной работы. При домашней подготовке к лабораторной работе рекомендуется пользоваться учебником [1].
2. Проведение расчетного эксперимента.
3. Обработка результатов расчетного эксперимента, оформление протокола, построение графиков.
4. Письменный анализ результатов расчетного эксперимента и сдача лабораторной работы преподавателю.

Проведение расчётного эксперимента

Особенностью данной лабораторной работы является то, что данные, получаемые с помощью виртуальной модели ТВД, эквивалентны результатам испытания двигателя на наземном стенде.

Для исследования совместной работы узлов турбовинтового двигателя и его характеристик проводятся две серии расчётов при значениях коэффициента отбора мощности на привод винта $\eta_{отб}=0,25$ и $\eta_{отб}=0,40$, что соответствует двум различным углам установки воздушного винта. При этом каждая серия расчётов включает определение параметров на четырёх установившихся режимах двигателя, характеризующих относительными величинами

частоты вращения ротора $\bar{n} = 60\%, 80\%, 90\%$ и 100% .

Внешние условия могут быть заданы произвольно по усмотрению преподавателя, например, они могут соответствовать реальным значениям температуры и давления атмосферного воздуха в момент проведения лабораторной работы.

Обработка результатов расчётного эксперимента

В результате обработки данных для каждого из четырёх режимов работы двигателя в каждой из двух серий расчётных экспериментов должны быть определены:

- относительная плотность тока рабочего тела в сечении на входе в компрессор $q(\lambda_{\text{в}})$;
- расход воздуха через двигатель $G_{\text{в}}$;
- степень повышения давления в компрессоре $\pi_{\text{к}}^*$;
- эффективный удельный расход топлива $C_{\text{е}}$;
- эквивалентный удельный расход топлива $C_{\text{э}}$;
- приведённое значение относительной величины частоты вращения ротора $\bar{n}_{\text{пр}}$;
- приведённое значение эффективной мощности $N_{\text{е.пр}}$;
- приведённое значение эквивалентной мощности $N_{\text{э.пр}}$;
- приведённое значение часового расхода топлива $G_{\text{т.ч.пр}}$;
- приведённое значение расхода воздуха через двигатель $G_{\text{в.пр}}$;
- приведённое значение полной температуры рабочего тела в сечении на выходе из компрессора $T_{\text{к.пр}}^*$;
- приведённое значение полной температуры рабочего тела в сечении на выходе из турбины $T_{\text{т.пр}}^*$.

При расчёте расхода воздуха принимать $F_{\text{в}} = 0,0123 \text{ м}^2$.

На основании данных, полученных в ходе обработки результатов двух серий расчётных экспериментов, заполняется таблица 1, строятся две линии совместной работы и графики приведённых дроссельных характеристик. На графиках приведённых дроссельных характеристик изображаются зависимости $N_{\text{е.пр}}$, $N_{\text{э.пр}}$, $G_{\text{т.ч.пр}}$, $G_{\text{в.пр}}$, $\pi_{\text{к}}^*$, $T_{\text{к.пр}}^*$, $T_{\text{т.пр}}^*$, $C_{\text{э}}$ как функции от $\bar{n}_{\text{пр}}$ при различных значениях коэффициента отбора мощности на привод винта.

Таблица 1 — Результаты расчётных экспериментов

	$\eta_{\text{отб}}$	\bar{n}	T_{H}^*	p_{H}^*	P	N_{e}	$G_{\text{т.ч}}$	$T_{\text{к}}^*$	$T_{\text{т}}^*$	$p_{\text{в}}$	$p_{\text{в}}^*$	$p_{\text{к}}^*$
		%	K	кПа	кН	кВт	$\frac{\text{кг}}{\text{ч}}$	K	K	кПа	кПа	кПа
1	0,25	60										
2		80										
3		90										
4		100										
5	0,40	60										
6		80										
7		90										
8		100										

Таблица 2 — Результаты обработки расчётных экспериментов

	$\pi(\lambda_{\text{в}})$	$q(\lambda_{\text{в}})$	$G_{\text{в}}$	$\pi_{\text{к}}^*$	C_{e}
			$\frac{\text{кг}}{\text{с}}$		$\frac{\text{кг}}{\text{кВт}\cdot\text{ч}}$
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					

Таблица 2 (продолжение)

	$\bar{n}_{\text{пр}}$	$N_{\text{е.пр}}$	$G_{\text{т.ч.пр}}$	$G_{\text{в.пр}}$	$T_{\text{к.пр}}^*$	$T_{\text{т.пр}}^*$
	%	<i>кВт</i>	$\frac{\text{кг}}{\text{ч}}$	$\frac{\text{кг}}{\text{с}}$	<i>K</i>	<i>K</i>
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						

Анализ результатов. Основные выводы

В заключение необходимо проанализировать результаты, полученные в ходе выполнения лабораторной работы. Анализ результатов и основные выводы являются центральным местом работы. Этот раздел студент выполняет самостоятельно, в произвольной форме и достаточно тщательно. Целесообразно особенности совместной работы узлов одновального ТВД сравнить с особенностями совместной работы узлов двигателей других типов и схем, в частности, с особенностями ГРД с регулируемым соплом.

Сдача лабораторной работы

Выполненная и оформленная работа сдается преподавателю. В процессе сдачи преподаватель задает 2-3 вопроса по особенностям совместной работы узлов одновального ТВД и характеру протекания его характеристик. Если студент не сдал работу, то лабораторная работа подлежит передаче после изучения соответствующих разделов курса.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ К ОТЧЕТУ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

1. Особенности совместной работы узлов одновального ТВД с винтом изменяемого шага. Сравните с одновальным ТРД при $F_{с.кр} = const$ и при $F_{с.кр} = var$.

2. Проведите физический анализ влияния угла установки лопастей винта на запасы устойчивой работы компрессора и основные данные одновального ТВД при $n = const$. Изобразите обобщенные характеристики одновального ТВД.

3. Особенности управления одновального ТВД.