

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР
КУЙБЫШЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени академика С. П. КОРОЛЕВА**

Кафедра «Теория двигателей летательных аппаратов»

ДРОССЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРД и ТВД

**Утверждено
редакционно-издательским
советом института в качестве
методических указаний
к лабораторным работам
для студентов**

КУЙБЫШЕВ 1986

УДК 621.452.32(075)

В методических указаниях кратко освещены вопросы теории протекания дроссельных характеристик турбореактивных и турбовинтовых двигателей, приводится методика проведения и обработки результатов эксперимента, производится анализ полученных результатов с обоснованием физической сущности явлений, происходящих энергетических процессов.

Методические указания предназначены для студентов специальности 1610.

Авторы-составители: А.А.Т р о ф и м о в, В.М.О к о р о ч к о в а

Рецензенты: д.т.н. проф. Е.Д.С т е н ь к и н, к.т.н. В.Д.П а к

I. ДРОССЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТРД С ПОСТОЯННЫМИ ПРОХОДНЫМИ СЕЧЕНИЯМИ

Работа рассчитана на 7 учебных часов. На втором занятии последний час будет посвящен снятию характеристик при другой, измененной площади выходного сопла F_0 .

При выполнении настоящей работы, связанной с горячими испытаниями турбореактивных двигателей (ТРД), необходимо строго выполнять правила техники безопасности. Эти правила каждый студент обязан изучить до начала выполнения данной лабораторной работы. Знание правил техники безопасности и готовность их своевременного и точного выполнения подтверждаются подписью.

При проведении лабораторной работы возникает интенсивный шум, мешающий восприятию дополнительных указаний. Поэтому при работе двигателя запрещается менять рабочие места и группироваться около пульта управления работой двигателя.

После выключения двигателя необходимо проветрить аудиторию.

Студент, пропустивший данное занятие, может выполнить его только с другой подгруппой у любого преподавателя. Дополнительной отработки данной работы, ввиду перегруженности учебной лаборатории, не планируется.

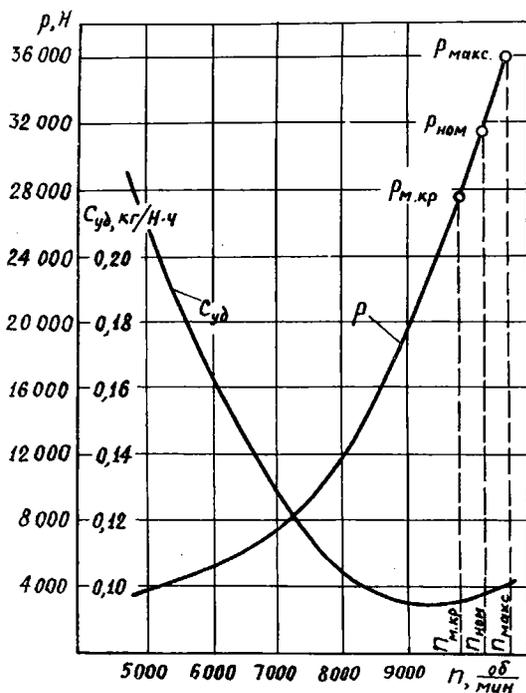
I.I. Краткие теоретические сведения о дроссельных характеристиках ТРД

Дроссельной характеристикой называют зависимость основных данных двигателя от частоты вращения ротора при неизменной высоте и скорости полета.

Основными данными двигателя являются тяга P , расход воздуха G_0 , удельный расход топлива $C_{уд}$, степень повышения давления в компрессоре π_K^* и температура на выходе из камеры сгорания T_r^* . Пример такой зависимости тяги и удельного расхода топлива представлен на рис. I.I.I.

Изменение частоты вращения ротора достигается путем изменения подачи топлива в камеру сгорания.

Как правило, указанные характеристики дополняются сведениями о работе отдельных элементов двигателя. Например, как изменяются



Р и с. I.I. Зависимость основных параметров ТРД от частоты вращения ротора (дроссельная характеристика)

в зависимости от частоты вращения ротора КПД компрессора η_k^* , температура газа за турбиной T_T^* , степень расширения газа в турбине π_T^* и в реактивном сопле π_{ρ} и ряд других. Ниже будет указано, какие из перечисленных дополнительных сведений нами будут использованы для контроля за состоянием ТРД при определении характеристики по частоте вращения.

Известно, что при работе ТРД возникает интенсивный шум. Поэтому работа полноразмерного ТРД в черте большого города на номинальном и эксплуатационном режимах запрещена санитарными нормами. Для изучения характеристики ТРД в учебной лаборатории применяется мало-

размерный ТРД ТС-12 с максимальной тягой 637 Н (65 кг). Основные параметры, характеризующие его качество и эффективность, численные значения которых мы узнаем после обработки результатов опыта, не отражают современное состояние ТРД.

ТРД ТС-12 является стартером одного из ТВД, выполнен по одной из схем с центробежным компрессором. С него снята свободная турбина, используемая для раскрутки ротора ТВД. Вместо нее установлен реактивный насадок. ТС-12 размещен на жестком станке, где с помощью динамометра можно непосредственно измерить его тягу. Схема установки представлена на плакатах.

1.2. Цель и содержание работы

1. Провести эксперимент для получения дроссельной характеристики ТРД.

2. Привести результаты опыта к стандартным атмосферным условиям.

3. Построить графическую зависимость тяги и удельного расхода топлива от частоты вращения ротора двигателя в стандартных атмосферных условиях.

4. Построить кривые изменения степени повышения давления в компрессоре π_K^* , степени расширения газа в турбине π_T^* и в сопле π_C , а также температуры перед турбиной T_T^* , за турбиной T_T^* и за компрессором T_K^* в зависимости от частоты вращения ротора двигателя в стандартных атмосферных условиях.

5. Описать физическую сущность явлений, объясняющих построенные зависимости.

Для выполнения поставленных целей необходимо:

ознакомиться с данными указаниями по выполнению лабораторной работы;

ознакомиться с экспериментальной установкой и рабочими местами для измерения необходимых параметров;

выполнить измерения параметров потока в характерных сечениях двигателя, тяги и расхода топлива при различной частоте вращения ротора;

обработать результаты экспериментов по прилагаемой методике.

1.3. Методика проведения работы

1. Запуск, прогрев, выход на установившийся режим, изменение режима и выключение установки осуществляются штатным персоналом под руководством заведующего лабораторией.

2. После прочтения студентами данных указаний преподаватель перед запуском двигателя знакомит студентов с установкой и рабочими местами. При этом одновременно осуществляется распределение студентов по рабочим местам.

3. Выполнять измерения на любом режиме работы двигателя можно только после подачи сигнала (звонка). После выполнения измерения необходимо включать обратную сигнализацию, оповещающую о сделанной записи численного значения измеряемого параметра.

4. Все записи измерений и черновые расчеты необходимо хранить (для быстрого определения возможных просчетов) до конца отчета всей группы по данной лабораторной работе.

1.4. Порядок выполнения работы

1. Подготовить и осуществить запуск двигателя. После запуска выполнить прогрев и вывести двигатель на первый контрольный режим (выполняется штатным персоналом).

2. После подачи общего сигнала выполнить измерение параметра, контролирующего работу двигателя на данном рабочем месте. О проведении и записи результата измерения сообщить по обратной связи.

3. После изменения режима работы двигателя вновь выполнить пункт 2. Пункт 2 выполняется на четырех режимах работы двигателя.

4. После выполнения измерений двигатель устанавливается на режим n_{rmin}^* , что соответствует частоте вращения $n = (0,4 \dots 0,45)n_{max}$ и охлаждается 1,5...2 мин, а затем выключается.

Измеряемые параметры

Перепады статического давления в сечениях $B_X - B_X; K - K; T - T$.

Перепады полного давления в сечениях $K - K; T - T; C - C$.

Полные температуры рабочего тела в сечениях $B_X - B_X; K - K; T - T; C - C$.

Тяга двигателя $P, кгс$.

Частота вращения $n, 1/м$.

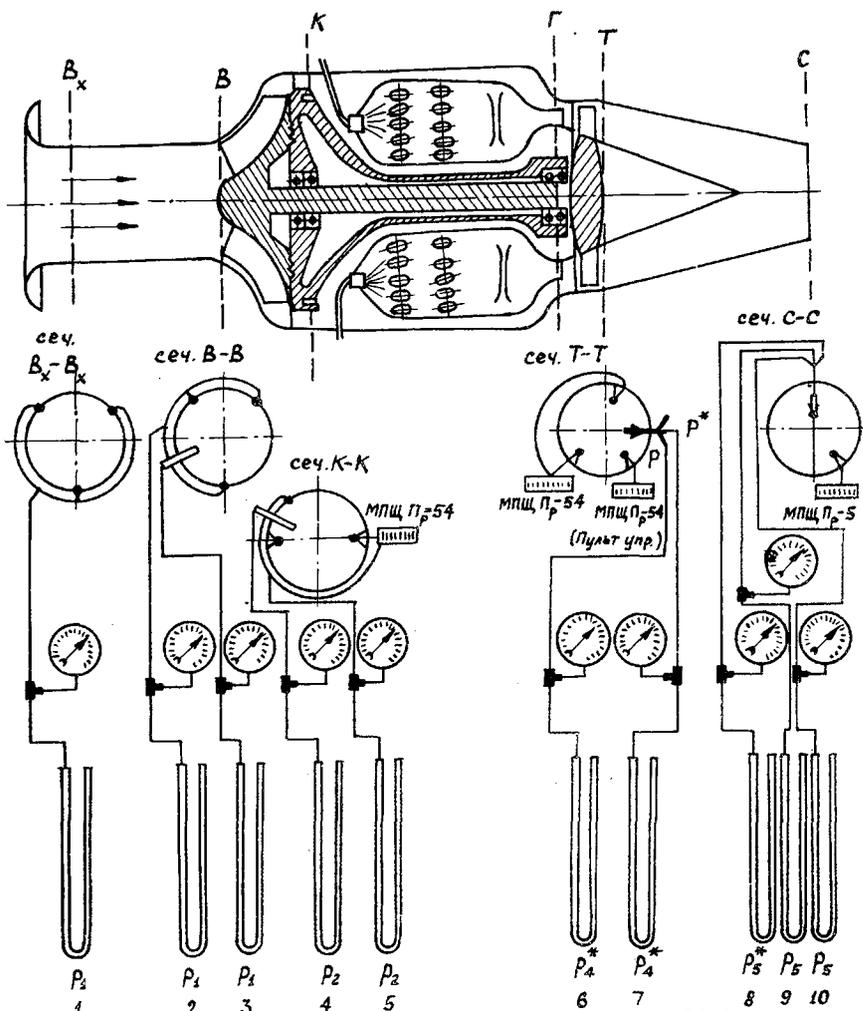
Время работы двигателя, $\tau, с$, за которое вырабатывается количество топлива, равное объему штихпробера;

Атмосферное давление $B_H, мм рт.ст.$

Плотность топлива $\rho_T, г/см^3$.

Давление топлива перед форсунками p_T (для контроля правильности определения расхода топлива объемным способом).

Схема измерений установки показана на рис. 1.2.



Р и с. 1.2. Схема измерений параметров двигателя ТС-12

1.5. Формулы для обработки результатов опыта

Все результаты измерений, полученные при проведении опыта, записанные в единицах измерения для данного прибора (например, перепад жидкости в мм водяного столба или в мм ртутного столба), обрабатываются для перевода их в систему измерений СИ. Такая обработка результатов измерения называется первичной.

При графическом представлении результатов измерений они должны быть приведены к стандартным атмосферным условиям. Такое приведение результатов измерений назовем вторичной обработкой.

Первичная обработка результатов измерений. Приборы, предназначенные для измерения давления в характерных сечениях двигателя, независимо от единиц измерения градуировки их шкалы (деления, высота (перепад) столба жидкости в миллиметрах, кг/см² и др.) определяют всегда избыточное (недостаточное) давление по отношению к атмосферному. Перевод различных единиц измерения этого избыточного (недостаточного) давления в систему измерений СИ выполняется следующим образом.

При измерении в делениях шкалы прибора

$$\Delta P_i = \frac{n}{N} C \cdot 9,81, \frac{H}{\text{CM}^2},$$

где n - число делений по шкале прибора, полученное при измерении;
 N - общее число делений на шкале прибора;
 C - давление, кг/см², соответствующее N делениям по шкале прибора (указывается внизу шкалы).

При измерении ртутным пьезометром (барометром)

$$\left. \begin{matrix} \Delta P_i \\ \Delta P_i^* \end{matrix} \right\} = 133,3 \cdot 10^{-4} (h_1 + h_2), \frac{H}{\text{CM}^2},$$

где $h_{1,2}$ - высота ртутного столбика в каждом колене дифференциального пьезометра, отсчитанная от нулевого положения, мм.

При измерении водяным пьезометром

$$\Delta P_i = 9,81 \cdot 10^{-4} (h_1 + h_2), \frac{H}{\text{CM}^2},$$

где $h_{1,2}$ - высота водяного столбика в каждом колене дифференциального пьезометра, отсчитанная от нулевого положения, мм.

В случае, если в сечении имеется несколько точек замера, то данные измерений перед обработкой результатов осредняются (определяется среднее арифметическое значение).

После определения избыточного (недостаточного) давления в рассматриваемом сечении определяются абсолютные давления и затем остальные параметры и основные данные двигателя.

1. Полные и статические давления

$$P_i^* = P_H \pm \Delta P_i; \quad P_i = P_H \pm \Delta P_i,$$

где $P_H = B_H 133,32 \cdot 10^{-4}$, Н/см²;
 B_H - показания барометра, мм рт.ст.

2. Полная температура

$$T_i^* = t_{i, \text{ЗАМ}} + 273,15 \text{ К.}$$

3. Расход воздуха на входе в двигатель

$$G_B = F_{BX} m q(\lambda_{BX}) \frac{P_{BX}^*}{\sqrt{T_{BX}^*}}, \text{ кг/с.}$$

Здесь $F_{BX} = 165 \text{ см}^2$.

Величина $q(\lambda_{BX})$ определяется из таблиц ГДФ по известной из опыта величине $\pi(\lambda_{BX}) = \frac{P_{BX}}{P_{BX}^*} \approx 1 - \Delta P_{BX} / P_H$.

При необходимости выполняется линейная интерполяция, при которой искомая величина $q(\lambda_{BX})$ определяется по формуле

$$q_x = q_2 + (q_1 - q_2) \frac{\pi_2 - \pi_x}{\pi_2 - \pi_1},$$

где $q_x = q(\lambda_{BX})$; $\pi_x = \pi(\lambda_{BX})$;

π_1 и π_2 соответственно равны границам интервала $\pi(\lambda_1)$ и $\pi(\lambda_2)$, в котором располагается опытное значение ГДФ $\pi(\lambda_{BX})$.
Определяются по таблицам ГДФ;

q_1 и q_2 соответственно равны $q(\lambda_1)$ и $q(\lambda_2)$. Определяются по таблицам ГДФ соответственно границам интервала $\pi(\lambda_1)$ и $\pi(\lambda_2)$.

График, поясняющий формулу, приведен на рис. 1.3.

Так как площадь F_{BX} имеет размерность см^2 , то полное давление

$P_{BX}^* \approx P_H$ имеет размерность в Н/см^2 .

Величина $m = 0,0405, \frac{\text{г}}{\text{м}} \text{град}^{0,5}$.

$$m = \sqrt{\left(\frac{2}{\kappa+1}\right)^{\frac{\kappa+1}{\kappa-1}} \frac{\kappa}{R}}, \quad \kappa = 1,4; R = 287,16 \frac{\text{Дж}}{\text{кг.К}}.$$

4. Расход топлива

$$G_T = V_{шт} \rho_T \frac{z, \text{б}}{t}, \frac{\text{кг}}{\text{час}},$$

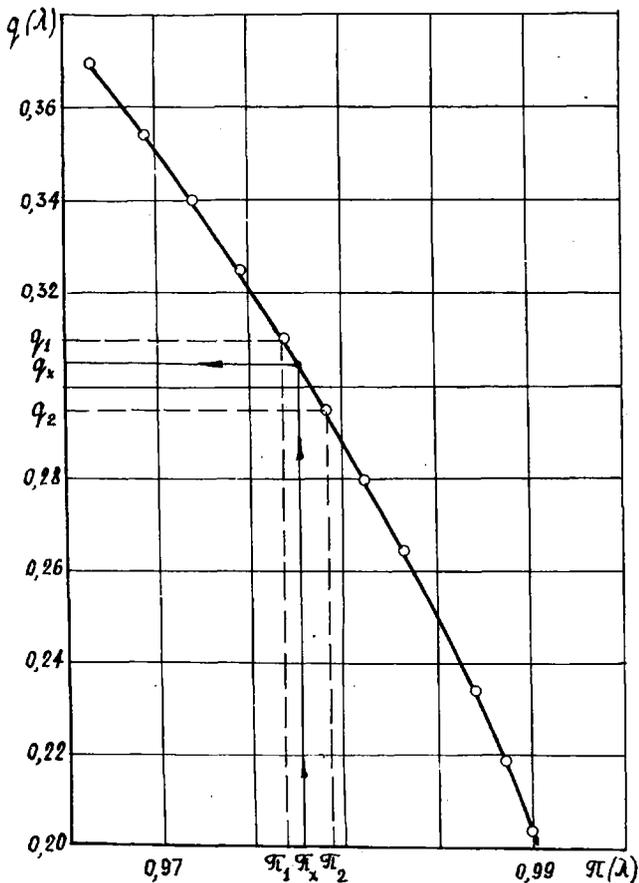
где $V_{шт} = 1145 \text{ см}^3$ - объем штихпробера;

$\rho_{Т, 2/\text{см}^3}$ - плотность топлива, определяемая ареометром во время проведения опыта;

$T, \text{с}$ - время работы двигателя, за которое полностью израсходуется топливо из контрольного объема штихпробера.

Расход топлива может быть определен и по тарировочной кривой для данного двигателя $G_T' = f(P_T - P_H)$.

5. Удельный расход топлива $C_{уд} = \frac{G_T / 4}{P}, \frac{\text{кг топ.}}{\text{Н.Ч}}$



Р и с. 1.3. Определения функции $q(\lambda)$ в зависимости от $\pi(\lambda)$ линейной интерполяцией

6. Степень повышения давления в компрессоре

$$\pi_K^* = \frac{P_K^*}{P_B^*} \approx \frac{P_K^*}{P_H^*}$$

7. Степень понижения давления газа в турбине

$$\pi_T^* = \frac{P_T^*}{P_P^*} = \frac{P_K^* \zeta_{КС}}{P_T^*}, \text{ где } \zeta_{КС} \approx 0,96.$$

8. Степень понижения давления газа в реактивном сопле

$$\pi_c = \frac{P_T^*}{P_H} = \frac{\pi_{кк}^* G_{кк}}{\pi_{гг}^*}$$

9. Температура на выходе из камеры сгорания $T_{гг}^*$ определяется по номограмме (рис. I.4, см. вкладку) как функция

$$T_{гг}^* = f(q_{гг}, T_{кк}^*), \quad q_{гг} = q_{гг} \cdot \frac{1 \text{ кгс}}{0,98} \cdot \frac{\text{Нл}}{42920}$$

где $q_{гг} = \frac{G_{гг}}{G_p} \frac{\text{кг/с}}{3600} \frac{\text{кг/с}}{\text{кг/с}}$ есть относительный расход топлива.

I.6. Приведение результатов опыта к стандартным атмосферным условиям (САУ) и построение характеристик

Приведение результатов опыта к САУ выполняется по следующим формулам.

Приведенная частота вращения

$$n_{пр} = n_i \sqrt{\frac{288,15}{T_{вхi}^*}}$$

Приведенный расход воздуха

$$G_{впр} = G_{ви} \frac{P_0^*}{P_H^*} \sqrt{\frac{T_{вхi}^*}{288,15}}$$

где $P_0^* = 760 \text{ мм рт. ст.} = 1,033 \text{ кг/см}^2 = 10,136 \text{ Н/см}^2$.

Приведенная тяга

$$P_{пр} = P_i \frac{P_0^*}{P_H^*}$$

Приведенный удельный расход топлива

$$C_{удпр} = C_{удi} \sqrt{\frac{288,15}{T_{вхi}^*}}$$

Приведенный часовой расход топлива

$$G_{гпр} = G_{гi} \frac{P_0^*}{P_H^*} \sqrt{\frac{288,15}{T_{вхi}^*}}$$

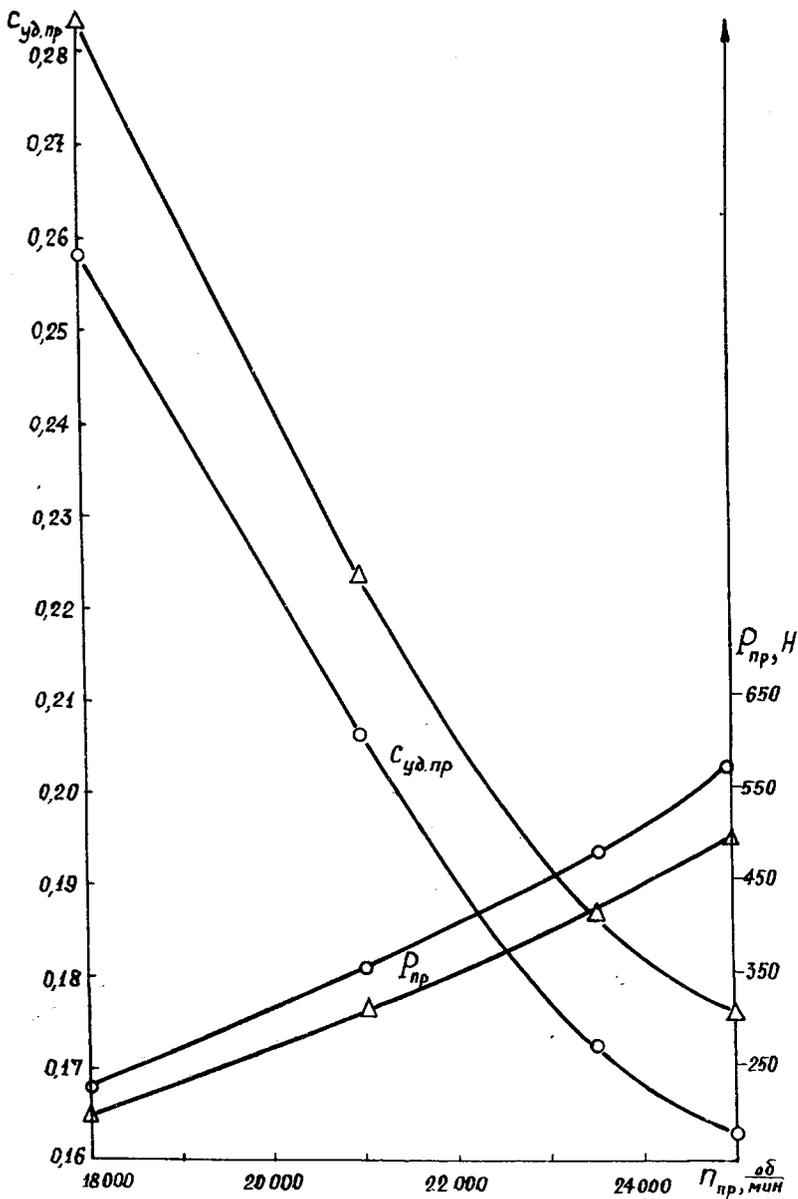
Приведенная температура в любом характерном сечении двигателя i

$$T_{iпр}^* = T_i^* \frac{288,15}{T_{вхi}^*}$$

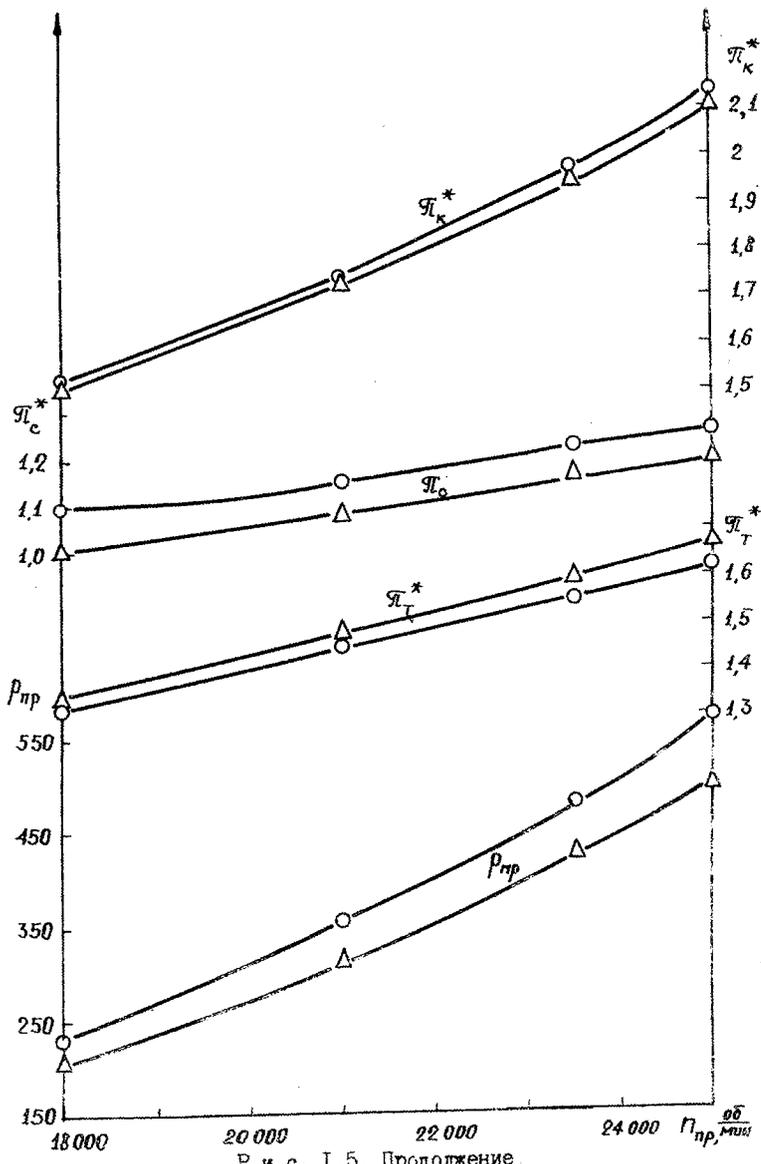
Приведенное давление в любом характерном сечении двигателя i

$$P_{iпр} = P_i \frac{P_0^*}{P_H^*}$$

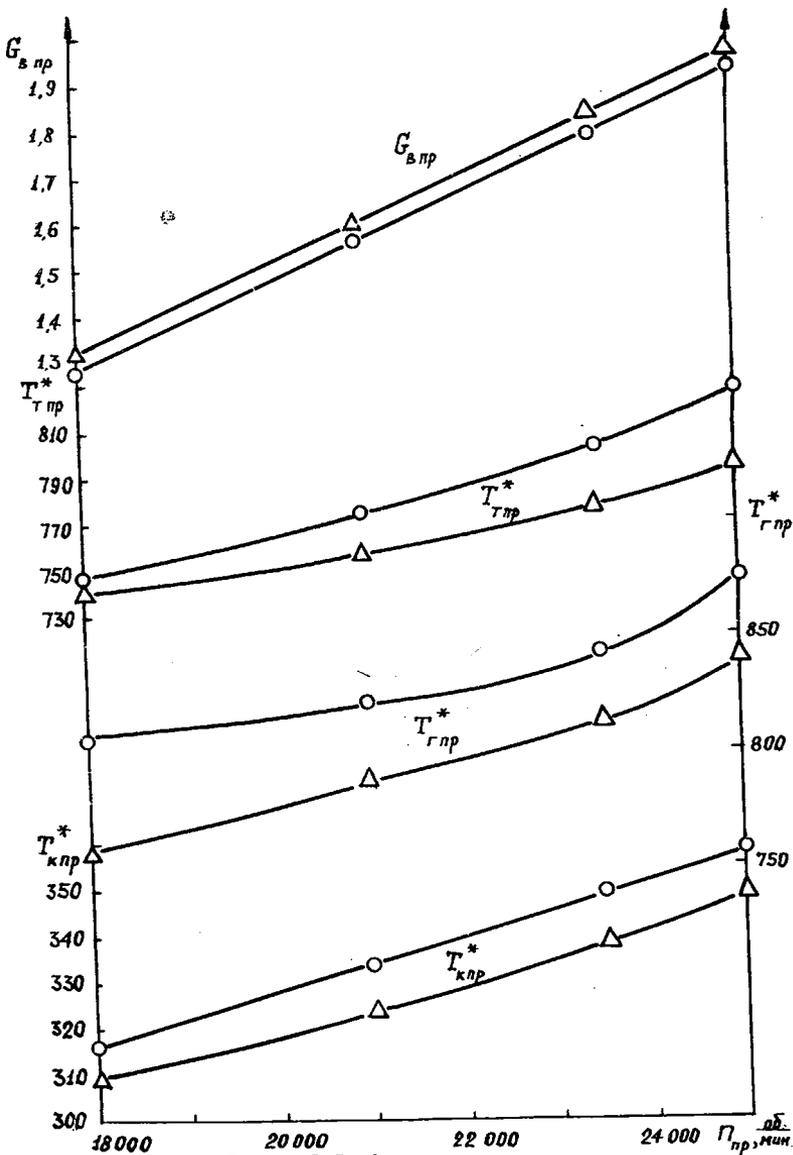
Характеристики по частоте вращения строятся в приведенных параметрах (рис. I.5).



Р и с. 1.5. Дроссельная характеристика ТРД ТС-12:
 Δ - большое сопло; O - среднее сопло



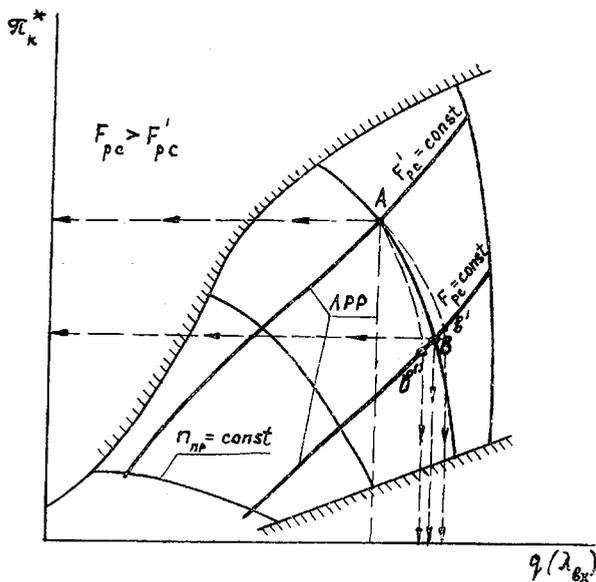
Р и с. I.5. Продолжение



Р и с. 1.5. Окончание

1.7. Анализ результатов опыта

Количественные значения тяги и удельного расхода топлива, а также параметров, характеризующих работу отдельных узлов двигателя и состояние потока в характерных сечениях, при прочих равных условиях, зависят от величины площади сечения на выходе из сопла F_C . Поэтому после экспериментального определения дроссельной характеристики при другой площади сечения на выходе из сопла F_C' нужно изобразить от руки (как на лекции) характеристику компрессора и нанести на нее линии совместной работы компрессора и турбины при двух значениях площади сечения на выходе из сопла F_C и F_C' (рис.1.6).



Р и с. 1.6. Влияние изменения площади выходного сечения сопла F_C и внешней температуры $T_{вх}^*$ на положение рабочей точки на характеристике компрессора

Это значительно облегчает анализ результатов эксперимента и дает возможность правильно объяснить физическую сущность явлений, происходящих в двигателе при изменении частоты вращения и площади сечения на выходе из сопла. Например, при увеличении площади

выходного сечения F_c давление за турбиной P_T^* уменьшается, что увеличивает перепад давлений на турбине π_T^* и, соответственно, ее мощность и работу L_T . При постоянном расходе топлива это нарушит ее установившийся режим: частота вращения ротора двигателя будет увеличиваться. Для сохранения ее прежнего установившегося режима, т.е. для поддержания $n_\varphi = const$, необходимо уменьшить подачу топлива G_T в камеру сгорания. Из-за уменьшения расхода топлива уменьшается температура в камере сгорания T_K^* , увеличивается расход воздуха через двигатель (так как $n_\varphi = const$) и уменьшается относительный расход топлива

$$q_T = \frac{G_T}{G_B} = f(T_K^*; T_K^*) = \frac{C_p (T_K^* - T_K^*)}{2_{Kc} H_u}.$$

В результате несколько увеличится расход газа G_T через турбину.

Увеличение расхода газа через турбину G_T произойдет в основном за счет увеличения расхода воздуха G_B , так как $G_T = G_B(1+q_T)$, где

$$G_T = G_T + G_B = F_{cA} m_T q(\lambda_{cA}) \frac{P_{Kc}^* G_{cA}}{\sqrt{T_K^*}}, \text{ а } P_K^* = P_H \pi_K^*.$$

Из-за увеличения расхода воздуха G_B увеличится $q(\lambda_{Bx})$ на входе в двигатель, а π_K^* уменьшится. Следовательно любая рабочая точка, расположенная на линии рабочих режимов, переместится по линии

$$n_{np} = \frac{n_\varphi}{\sqrt{P_K^*}} \sqrt{288,15} \text{ вправо и вниз.}$$

При проведении эксперимента возможны случаи, когда при запусках с разными F_c температура на входе в двигатель не остается постоянной, а изменяется. Вследствие этого перемещение рабочей точки будет происходить не по линии $n_{np} \approx const$, а с изменением n_{np} , как указано на рис. 1,6, и точка А может занять положение В' или В'', а не положение В, как при $n_{np} \approx const$.

По результатам эксперимента, приведенным к стандартным атмосферным условиям (P_{Tnp} , π_T^* , T_{Tnp}^* , π_K^* , P_{Knp}^* , G_{Bnp}), необходимо сделать анализ о влиянии выходной площади реактивного сопла F_c на изменение часового расхода топлива G_{Tnp} , температур за компрессором T_{Knp}^* и турбиной T_{Tnp}^* , степени понижения давления газа в выходном сопле π_c , удельной тяги $P_{удnp}$ и удельного расхода топлива $C_{удnp}$, а также тяги двигателя P_{np} .

В случае несовпадения результатов анализа с экспериментальными данными необходимо объяснить причины (сделать вывод) несовпадения.

1.8. Материалы, представляемые к отчету

1. Бланк с записями результатов измерений для каждой площади выходного сечения сопла F_c , датой испытания, фамилией автора, номером группы, подписанный студентом, выполнявшим измерения.
 2. Обработанные протоколы испытаний для каждой площади выходного сечения сопла F_c (приложение I).
 3. Характеристики и дополнительные кривые, характеризующие работу отдельных элементов, двигателя. Результаты должны быть подписаны автором с указанием даты, группы и номера протокола испытаний.
- Лицевая сторона обработанного протокола испытаний (приложение 2) должна отражать суть работы (задание и ее содержание) и краткую характеристику испытательного стенда.
- Величины, необходимые для подсчета расхода воздуха G_B (ΔP_{Bx} , $\frac{H}{\text{см}^2}$, $\pi(\lambda_{Bx})$, $\varphi(\lambda_{Bx})$) и температуры газа на выходе из камеры сгорания T_r^* (q_r) определяются по результатам измерений с точностью до четырех значащих цифр после запятой.
- Удельный расход топлива $C_{уд}$ и расход воздуха G_B подсчитываются с точностью до третьей значащей цифры после запятой.
- Все остальные величины определяются с точностью до второй или первой значащей цифры после запятой.

Приложение I

ПРОТОКОЛ №

Топливо ТС-1

11 февраля 1985г.

 $\rho = 0,783 \text{ г/см}^3$

Принято: 05.05.85 /Петров/

Атмосферные условия $V_H = 757 \text{ мм рт. ст.} = 10,0955 \text{ Н/см}^2$

Масло МК-8

Результаты эксперимента													Первичная												
№№№ режи	Π	$\rho_{\text{TR,ca}}$	L_{BK}	t_{BK}^*	t_{K}	t_{T}	t_{C}	Δp_{K}	Δp_{T}	Δp_{T}^*	ρ_{T}	φ	φ'	$\rho_{\text{TR,ca}}$	G_{T}	G_{TP}	T_{BK}^*	T_{K}	T_{T}	T_{C}	Δp_{K}				
м/м	кгс	°C	°C	°C	°C	°C	°C	мм вод.ст.	мм рт.ст.	мм рт.ст.	дел	сек.	сек.	Н	кг час	кг час	К	К	К	К	Н/см ²				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23			
1	18000	21,0	15,5	44,0	463,3	450	131/145	162/187	31/25	7,5	55,5	55,2	206,0	58,3	52,2	288,5	317,0	736,3	72,3	0,2688					
2	21000	31,8	13,0	58,0	471,7	455	195/215	263/294	41/40	10,0	47,1	46,5	311,9	68,6	64,6	286,0	331,0	750,7	72,8	0,3973					
3	23500	43,3	12,0	73,0	492,3	470	260/278	345/373	68/60	13,5	41,0	39,9	424,0	78,9	77,8	285,0	346,0	766,3	74,3	0,5277					
4	25000	50,8	12,0	81,5	512,3	490	302/321	397/430	80/71	16,5	37,2	36,4	498,4	87,0	87,8	285,0	354,5	785,3	76,3	0,6112					
Обработка																									
ρ_{K}	ρ_{T}	$\rho_{\text{TR,ca}}$	ρ_{K}	ρ_{T}	$\rho_{\text{TR,ca}}$	ρ_{K}	ρ_{T}	$\rho_{\text{TR,ca}}$	ρ_{K}	ρ_{T}	$\rho_{\text{TR,ca}}$	ρ_{K}	ρ_{T}	$\rho_{\text{TR,ca}}$	ρ_{K}	ρ_{T}	$\rho_{\text{TR,ca}}$	ρ_{K}	ρ_{T}	$\rho_{\text{TR,ca}}$	ρ_{K}	ρ_{T}	$\rho_{\text{TR,ca}}$		
15,15	10,84	0,9734	0,3318	1,318	0,0223	800	0,283	1,50	1,34	1,07	17984	1,324	58,5	206,8	0,283	316,5	788,6	734,8	15,2	10,9					
17,39	11,3	0,9606	0,4011	1,600	0,0419	800	0,220	1,72	1,48	1,12	21073	1,600	69,43	313,2	0,221	333,3	805,6	756,0	17,5	11,4					
19,60	11,8	0,9477	0,4590	1,835	0,0480	815	0,186	1,95	1,60	1,17	23693	1,831	79,65	426,5	0,187	349,6	823,6	773,9	15,7	11,9					
21,12	12,1	0,9395	0,4911	1,962	0,0124	835	0,175	2,09	1,68	1,20	25131	1,974	87,78	500,3	0,176	358,3	843,8	793,6	21,2	12,2					
Прибеденные к САУ																									
ρ_{K}	ρ_{T}	$\rho_{\text{TR,ca}}$	ρ_{K}	ρ_{T}	$\rho_{\text{TR,ca}}$	ρ_{K}	ρ_{T}	$\rho_{\text{TR,ca}}$	ρ_{K}	ρ_{T}	$\rho_{\text{TR,ca}}$	ρ_{K}	ρ_{T}	$\rho_{\text{TR,ca}}$	ρ_{K}	ρ_{T}	$\rho_{\text{TR,ca}}$	ρ_{K}	ρ_{T}	$\rho_{\text{TR,ca}}$	ρ_{K}	ρ_{T}	$\rho_{\text{TR,ca}}$		
15,15	10,84	0,9734	0,3318	1,318	0,0223	800	0,283	1,50	1,34	1,07	17984	1,324	58,5	206,8	0,283	316,5	788,6	734,8	15,2	10,9					
17,39	11,3	0,9606	0,4011	1,600	0,0419	800	0,220	1,72	1,48	1,12	21073	1,600	69,43	313,2	0,221	333,3	805,6	756,0	17,5	11,4					
19,60	11,8	0,9477	0,4590	1,835	0,0480	815	0,186	1,95	1,60	1,17	23693	1,831	79,65	426,5	0,187	349,6	823,6	773,9	15,7	11,9					
21,12	12,1	0,9395	0,4911	1,962	0,0124	835	0,175	2,09	1,68	1,20	25131	1,974	87,78	500,3	0,176	358,3	843,8	793,6	21,2	12,2					

Максимов А.П.

группа 332

Подпись

МВССО РСФСР

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени авиационный институт имени академика С.П.Королева

Факультет № 2

Лаборатория кафедры ТДЛА

Работа №

- З а д а н и е: 1. Экспериментально определить дроссельную характеристику ТРД ТС-12 при постоянных проходных сечениях двигателя.
2. Повторить определение дроссельной характеристики, изменив площадь выходного сечения реактивного сопла F_C .
3. Построить характеристики ТРД (P и C_{yD}) по частоте вращения при двух различных F_C .
4. На характеристике компрессора нанести (от руки) линии совместной работы компрессора и турбины для двух различных F_C .
5. По результатам эксперимента построить графические зависимости $\pi_K^* = \pi(n)$, $\pi_T^* = \pi(n)$, $\pi_C = \pi(n)$, $G_B = G(n)$, $T_C^* = T(n)$, $T_K^* = T(n)$, $T_T^* = T(n)$.

К р а т к а я м е т о д и к а э к с п е р и м е н т а

Запустить двигатель и после выдержки его на определенном режиме (для прогрева и получения стабильных параметров потока) по общему сигналу выполнить измерения необходимых параметров (t_{Bx}^* , ΔP_{Bx} , P_K^* , P_T^* , t_K^* , t_T^* и время работы на данном режиме τ).

Измерения выполняются на четырех режимах работы двигателя

$$\bar{n} = 100 \% (25000 \text{ I/м}), \quad \bar{n} = 94 \% (23500 \text{ I/м}), \quad \bar{n} = 84 \% (21000 \text{ I/м}), \\ \bar{n} = 72 \% (18000 \text{ I/м}).$$

Э к с п е р и м е н т а л ь н а я у с т а н о в к а

ТРД ТС-12 установлен на жестком испытательном станке (подвижная платформа подвешена на лентах). Входное устройство двигателя представляет собой лемнискатный насадок. Двигатель препарирован датчиками для измерений полных и статических давлений и полной температуры во всех характерных сечениях двигателя, кроме сечения на выходе из камеры сгорания.

2. ДРОССЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТВД

2.1. Краткие теоретические сведения о дроссельных характеристиках ТВД

У турбовинтового газотурбинного двигателя (ТВД) мощность турбины затрачивается, в основном, на привод компрессора и воздушного винта. Мощность, потребляемая винтом N_B , зависит от частоты вращения винта n_B и угла установки лопастей винта α_B (рис.2.1). Мощность турбины ТВД зависит от частоты вращения турбокомпрессора n_{TK} и температуры газов перед турбиной T_r^* (от расхода топлива G_T). При эксплуатации двигателя всегда нужно выбирать такие режимы его работы, при которых потребная для вращения винта мощность достигается при наименьшем расходе топлива. Поэтому для каждого двигателя необходимо знать его характеристику по частоте вращения (дроссельную характеристику), т.е. зависимость изменения мощности на валу винта N_B и удельного расхода топлива C_e от приведенной частоты вращения турбокомпрессора $n_{пр.тк}$.

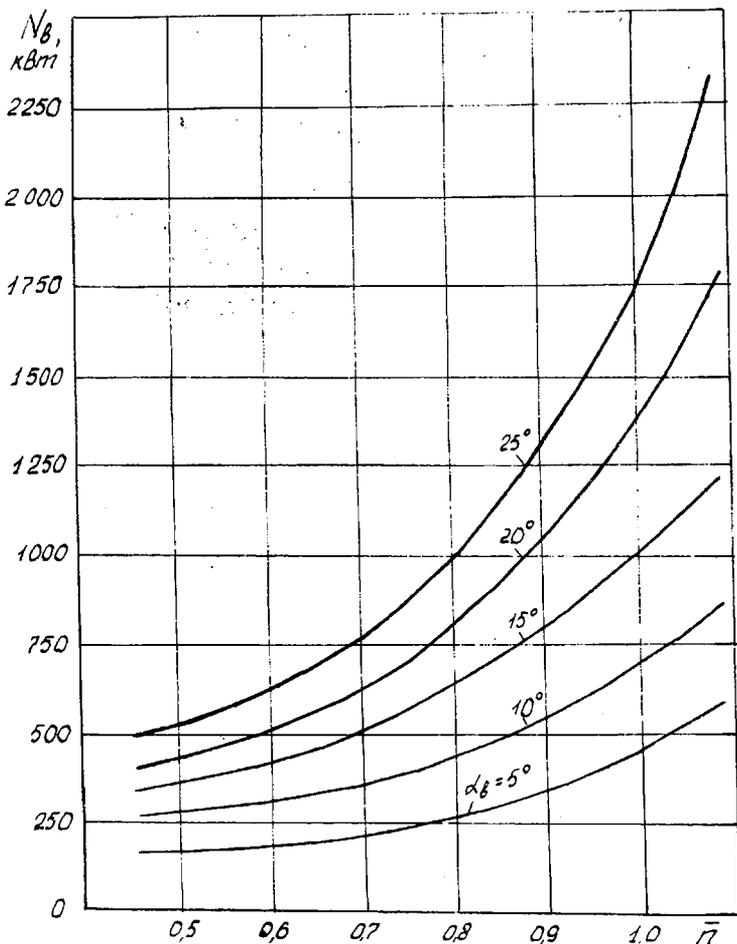
Известно, что для определения мощности турбины необходимо знать ее частоту вращения и крутящий момент, так как

$$N = \frac{M_{кр} n}{9,55}, \text{ Вт}, \quad M_{кр}, \text{ Нм}, \quad n, \frac{1}{с}.$$

Измерение крутящего момента всегда осуществляется при помощи тормоза. В практике находят применение электрические, гидравлические и пневматические тормоза. У электрических тормозов изменение нагрузочного момента осуществляется с помощью емкостных датчиков и реостатов сопротивления. В гидравлических и пневматических тормозах используются струнные датчики и тензодатчики. На большинстве испытательных станций авиационной промышленности, как правило, для измерения крутящего момента применяются гидравлические тормоза.

По экономическим соображениям и из-за отсутствия достаточной площади в учебном процессе крутящий момент измеряется электрическим тормозом, где вместо воздушного винта применяется электрогенератор с регулируемым активным сопротивлением. Несмотря на малую трудоемкость, данный способ дает, по сравнению с другими, большую погрешность измерения.

При изучении теории ГТД для более глубокого понимания физичес-



Р и с.2.1. Изменение мощности винта в зависимости от частоты вращения и угла установки лопастей винта α_B

ной сущности явлений, происходящих при дросселировании ТВД, при построении характеристик по частоте вращения будем дополнительно рассматривать зависимости температуры газа перед турбиной T_T^* и за ней $T_T'^*$, а также степени повышения давления воздуха в компрессоре π_K^* от приведенной частоты вращения турбокомпрессора $\Pi_{пр.тк}$.

Лабораторная работа по определению характеристик ТВД и построению линии совместной работы турбокомпрессора и воздушного винта выполняется на одновальном двигателе ДГ4М с центробежным компрессором и радиально-осевой турбиной. Двигатель является вспомогательной установкой (ВСУ) с номинальной мощностью 70 л.с. (51,5 кВт) и имеет расход воздуха $G_B = 1,5$ кг/с, степень повышения давления в компрессоре $\pi_K^* = 2,5$, температуру газа перед турбиной $T_T^* \approx 900$ К и удельный расход топлива $C_p = 0,84$ кг/л.с.ч. = 1,14 кг/кВт час. Частота вращения ротора турбокомпрессора на эксплуатационном режиме составляет $n_{TK} = 27750$ 1/м ($\bar{n} = 1,0$). Частота вращения силового вала с помощью редуктора снижается соответственно до $n_B = 6000$ 1/м.

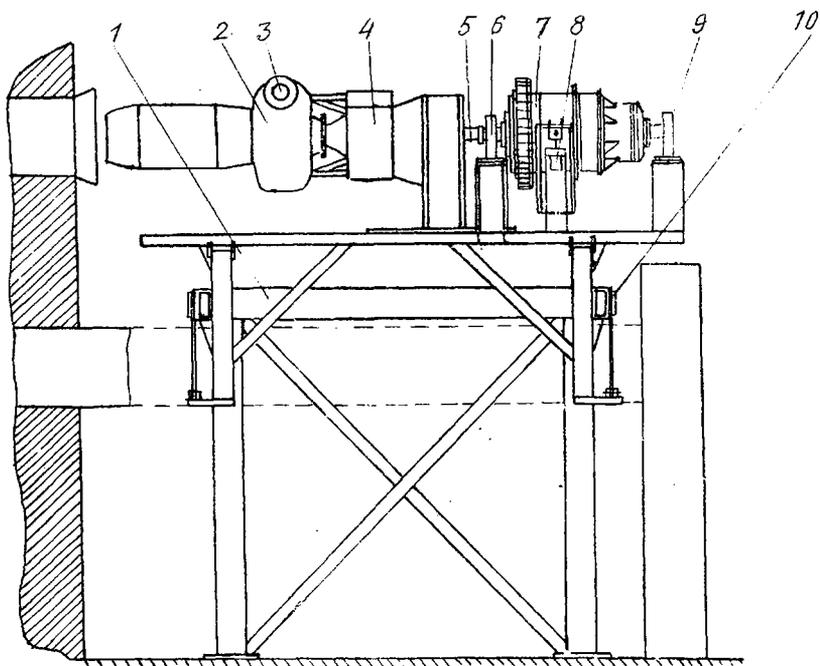
Вместо воздушного винта силовой вал двигателя приводит во вращение электрический генератор С-75, мощность которого передается на реостат сопротивления. Имеется специальная система для осуществления плавной регулировки мощности двигателя. Изменение потребной мощности двигателя осуществляется реостатом сопротивления загрузки генератора. Изменение его сопротивления соответствует изменению угла установки лопастей воздушного винта α_B . В процессе испытания двигателя необходимо снять характеристики при двух различных положениях реостата загрузки генератора. Каждая дроссельная характеристика определяется для 4-х значений относительных частот вращения $\bar{n} = 1,0; 0,95; 0,9$ и $0,8$ ($\bar{n} = n/n_{max}$).

Общий вид установки для испытаний приведен на рис.2.2. Испытуемый двигатель имеет специальное препарирование для измерений необходимых параметров потока, с помощью которых определяется расход воздуха через двигатель G_B , степень повышения давления в компрессоре π_K^* , температура в камере сгорания (на входе в турбину) T_T^* и ряд других параметров, необходимых для анализа работы двигателя.

Работа рассчитана на 4 учебных часа. Испытания натурального двигателя всегда являются горячими. Поэтому необходимо строго выполнять правила техники безопасности, которые каждый студент должен изучить до начала выполнения данной лабораторной работы. Знание правил техники безопасности и готовность их точного и своевременного выполнения подтверждаются подписью.

При проведении лабораторной работы возникает интенсивный шум мешающий восприятию дополнительных указаний. Поэтому при работе двигателя запрещается менять рабочие места и группироваться около пульта управления работой двигателя.

После проведения испытания двигателя необходимо проветрить аудиторию.



Р и с. 2.2. Схема установки для испытания турбовального двигателя ДГ-4М: 1 - испытательный станок; 2 - турбовальный ГТД ДГ-4М; 3 - тангенциальная камера сгорания; 4 - редуктор двигателя; 5 - валопровод; 6,9 - подшипниковые опоры статора генератора С-75; 7 - генератор С-75; 8 - частотный струнный датчик; 10 - устройство для измерения тяги сопла

Студент, пропустивший данное занятие, может выполнить его только с другой подгруппой у любого преподавателя. Дополнительной отработки данной работы, ввиду перегруженности учебной лаборатории, не планируется.

2.2. Цель и содержание работы

1. Экспериментальным путем определить характеристику двигателя по частоте вращения вала турбокомпрессора при двух различных положениях реостата сопротивления нагрузочного генератора, что соответствует двум различным положениям угла установки лопасти винта α_B
2. Провести первичную обработку результатов эксперимента.
3. Результаты эксперимента привести к стандартным атмосферным условиям (вторичная обработка).

4. Построить графическую зависимость мощности и часового расхода топлива от частоты вращения ротора турбокомпрессора в стандартных атмосферных условиях.

5. Построить линию совместной работы компрессора, турбины и загрузочного генератора, имитирующего работу воздушного винта, при двух положениях реостата сопротивления.

6. Построить зависимости степени повышения давления в компрессоре π_k^* , часового расхода топлива G_T , расхода воздуха G_D , мощности N_D , температуры газа перед турбиной T_T^* от частоты вращения ротора турбокомпрессора в стандартных атмосферных условиях.

Для выполнения поставленных целей необходимо:

до начала проведения лабораторной работы изучить данные указания по выполнению лабораторной работы;

ознакомиться с экспериментальной установкой и рабочими местами для измерения необходимых параметров;

выполнить измерения параметров потока в характерных сечениях двигателя, мощности и расхода топлива при каждой частоте вращения турбокомпрессора;

обработать результаты экспериментов по прилагаемой методике.

Для закрепления и углубления теоретических знаний, полученных при изучении совместной работы узлов и характеристик выполненного ТВД, провести анализ полученных результатов в письменном виде.

2.3. Методика проведения работы

1. Запуск, прогрев, выход на установившийся режим, изменение режима и выключение установки осуществляются штатным персоналом под руководством учебного мастера.

2. После ознакомления студентов с данными указаниями преподаватель проводит небольшую экскурсию по лаборатории для ознакомления с рабочими местами и экспериментальным стендом.

3. Измерения параметров потока на любом рабочем месте можно выполнять только после подачи сигнала (звонка), который подается после выдержки работы двигателя на данном режиме работы (данной частоте вращения). После выполнения измерений необходимо включить сигнализацию, оповещающую о выполнении измерения.

4. Все бланки с записями измерений необходимо подписать, проставить дату испытаний и хранить до конца отчета всей подгруппы по данной лабораторной работе (для быстрого определения возможных ошибок).

2.4. Порядок выполнения работы

1. Перед запуском двигателя студенты занимают свои рабочие места и смотрят за показаниями приборов во время выполнения запуска двигателя. Запуск, прогрев и выход двигателя на установленный режим осуществляются учебным мастером.

2. После выхода двигателя на определенный режим и некоторой выдержки его на этом режиме подается сигнал, по которому на всех местах одновременно выполняется измерение параметров, контролирующих работу двигателя. После записи выполненного измерения по обратной связи подается сигнал об окончании измерения.

3. После изменения режима работы двигателя выполнить пункт 2. Пункт 2 выполняется на четырех режимах работы двигателя. Каждый режим соответствует двум положениям реостата сопротивления загрузочного генератора.

4. После проведения измерений на всех режимах двигатель охлаждается и выключается.

И з м е р я е м ы е п а р а м е т р ы

- n 1/c или $\bar{n} = \frac{n}{n_{max}}$ - частота вращения турбокомпрессора.
 P_T - давление топлива, соответствующее расходу топлива на данном режиме, дел.
 W - электрическая мощность генератора С-75, дел.
 t_T^* - температура газа за турбиной, °С.
 P_C - тяга сопла, кгс.
 Δp_K^* - перепад давления за компрессором, мм рт.ст.
 $\Delta p_{вх}$ - перепад между полным и статическим давлением на входе в компрессор, мм вод.ст.

Положение реостата сопротивления загрузочного генератора.

- B_H - давление окружающей среды, мм рт.ст.
 $t_{вх}, t_K^*$ - температура воздуха на входе в двигатель и за компрессором, °С.

В процессе испытания характеристика по частоте вращения снимается дважды (для двух положений реостата сопротивления загрузочного генератора; при каждом положении реостата сопротивления частоты вращения равны $\bar{n} = 1,0; 0,95; 0,90$ и $0,85$).

2.5. Обработка результатов измерения

Первичная обработка результатов измерений, полученных при проведении опыта и записанных в единицах измерения для каждого конкретного прибора, выполняется как и при испытании ТРД.

Для определения параметров, характеризующих и определяющих рабочий режим двигателя, все измеренные величины обрабатываются по следующим зависимостям.

1. Атмосферное давление $P_H = P_H^* = 133,32 \cdot 10^{-4}$ Вн, Н/см², где B_H - атмосферное давление, мм рт.ст., прочитанное по показаниям барометра.

2. Полное давление за компрессором $P_K^* = [B_H + (\Delta P_1 + \Delta P_2)] 133,32 \cdot 10^{-4}$, $\frac{H}{CM^2}$, где ΔP_1 , ΔP_2 - высоты ртутных столбов, отсчитанные от нулевого положения в каждом из колен ртутного дифференциального манометра.

3. Перепад между полным и статическим давлением на входе в компрессор

$\Delta P_{ВХ} = (\Delta P_1 + \Delta P_2) 9,81 \cdot 10^{-4}$, $\frac{H}{CM^2}$, где ΔP_1 , ΔP_2 - высоты водяных столбов, отсчитанные от нулевого положения в каждом из колен водяного дифференциального манометра.

4. Мощность двигателя $N_e = 0,7356 \frac{W}{г}$, кВт, где W - мощность генератора С-75 в делениях ваттметра; $\eta_r = 0,9$ - КПД генератора.

5. Температура за турбиной и за компрессором

$$T_T^* = t_T^* + 273,15, K;$$

$$T_K^* = t_K^* + 273,15, K.$$

6. Степень повышения давления в компрессоре $\pi_K^* = \frac{P_K^*}{P_H^*}$.

7. Расход воздуха через двигатель

$G_B = F_{ВХ} m q(\lambda_{ВХ}) \frac{P_B}{\sqrt{T_B^*}}$, кг/с. Здесь $F_{ВХ}$, см²; $m = 0,0403 \frac{г}{M} \frac{с}{с}$; $T_B^* = T_{ВХ}^*$,

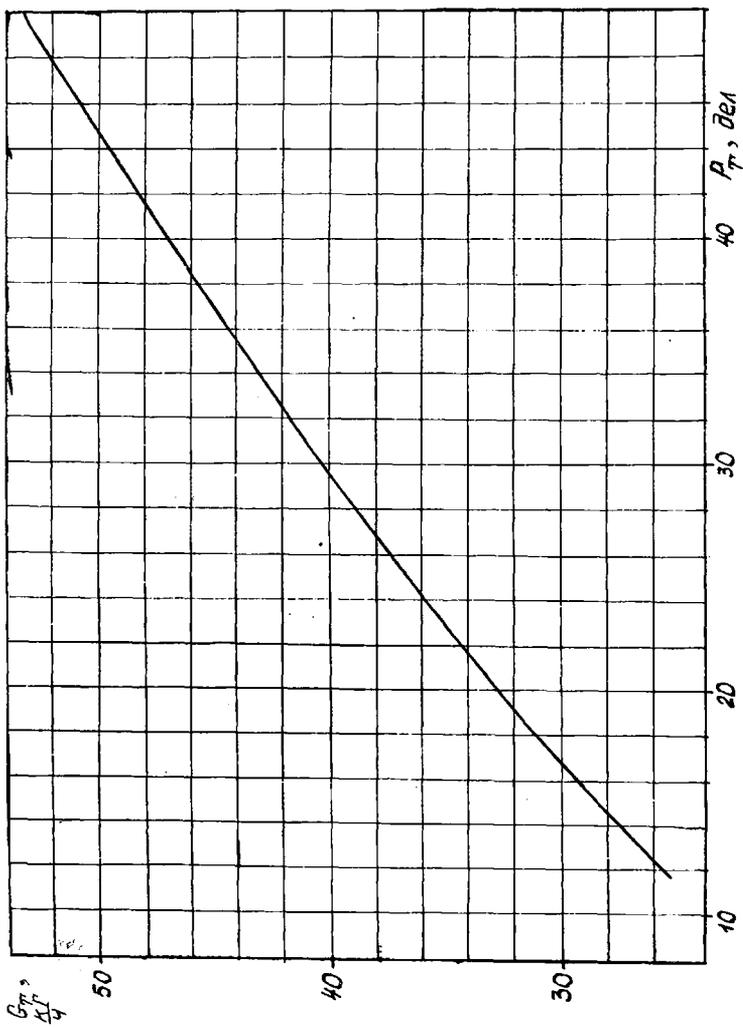
где $T_{ВХ}^* = t_{ВХ}^* + 273,15, K$,

$q(\lambda_{ВХ})$ определяется по газодинамической функции $\pi(\lambda_{ВХ})$.

$$\pi(\lambda_{ВХ}) = \frac{P_B}{P_B^*} = \frac{P_H - \Delta P_{ВХ}}{P_H} = 1 - \frac{\Delta P_{ВХ}}{P_H}.$$

При использовании ГДФ в случае необходимости выполняется линейная интерполяция, как и при проведении испытаний ТРД.

8. Расход топлива G_T , кг/ч определяется по кривой рис.2.3 в зависимости от давления топлива P_T , бар.



Р и с. 2.3. График для определения расхода топлива G_T

9. Температура газа перед турбиной T_T^* (на выходе из камеры сгорания) определяется по номограмме как функция $T_T^* = f(q_T, T_K^*)$, где $q_T = \frac{G_T}{G_B 3600}$ - относительный расход топлива (см. руководство для определения дроссельной характеристики ТРД с постоянными проходными сечениями).

2.6. Приведение результатов эксперимента к стандартным атмосферным условиям (САУ) и построение характеристик

Приведение результатов эксперимента к САУ выполняется по следующим соотношениям

1. Приведенный расход воздуха

$$G_{B.пр} = G_B \frac{10,136}{\rho_H^*} \sqrt{\frac{T_H^*}{288,15}}, \text{ кг/с.}$$

Здесь и во всех последующих формулах $T_H^* = T_{BK}^*$.

2. Приведенный расход топлива

$$G_{T.пр} = G_T \frac{10,136}{\rho_H^*} \sqrt{\frac{288,15}{T_H^*}}, \text{ кг/ч.}$$

Для контроля правильности расчета расхода воздуха через двигатель результаты расчета можно сравнить с показаниями, полученными по кривой рис.2.4, где нанесена зависимость приведенного расхода воздуха через двигатель в зависимости от отношения $\Delta p_{BK} / \rho_H^*$.

3. Мощность двигателя, приведенная к стандартным атмосферным условиям, определяется выражением

$$N_{e.пр} = N_e \frac{10,136}{\rho_H^*} \sqrt{\frac{288,15}{T_H^*}}, \text{ кВт.}$$

4. Приведенная частота вращения

$$n_{пр} = n \sqrt{\frac{288,15}{T_H^*}}, \frac{1}{\text{м.}}$$

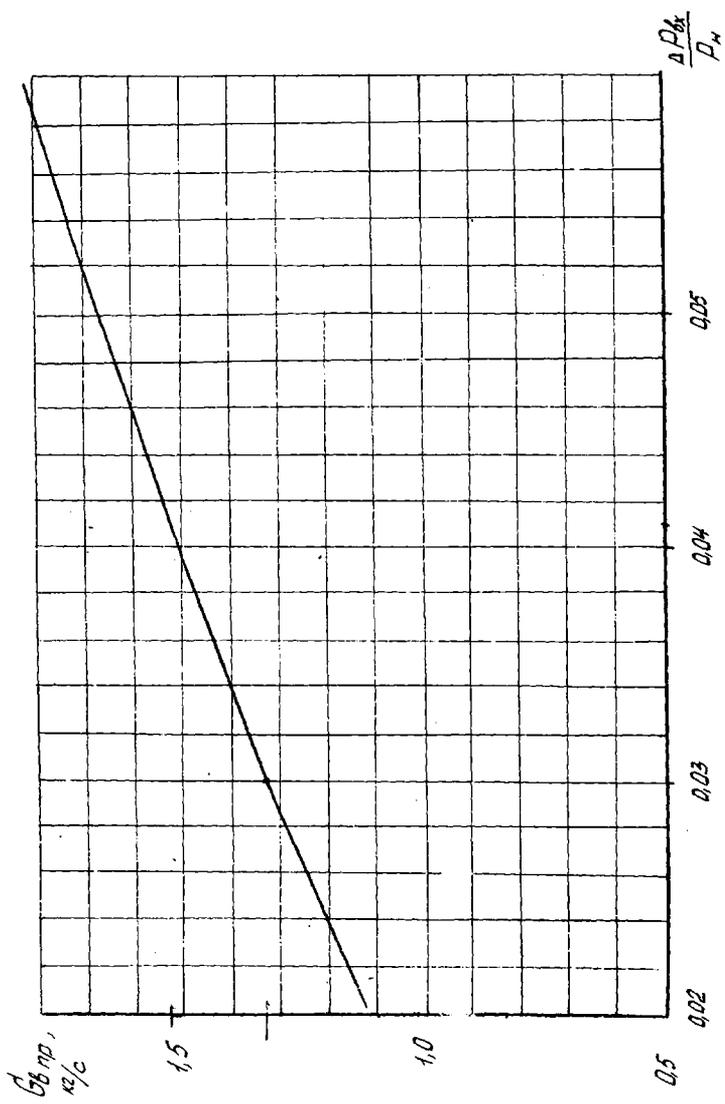
5. Температура газов за и перед турбиной, приведенные к САУ

$$T_{T.пр}^* = T_T^* \frac{288,15}{T_H^*}, \text{ К; } T_{Г.пр}^* = T_G^* \frac{288,15}{T_H^*}, \text{ К.}$$

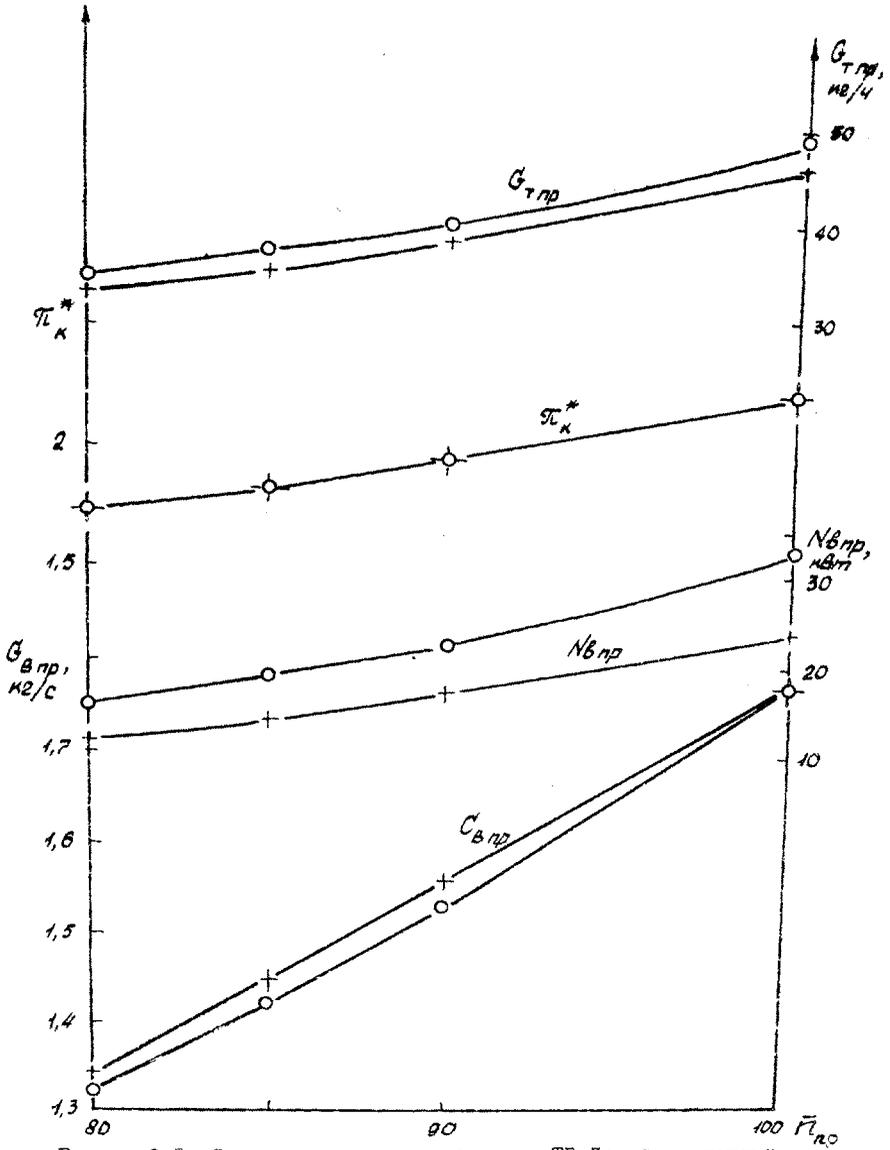
Все результаты измерений, первичной и вторичной (приведение к САУ) обработки должны быть представлены в протоколе лабораторной работы, образец оформления которого показан в приложении I.

Характеристики ТВД по частоте вращения строятся в приведенных параметрах, как показано на рис.2.5.

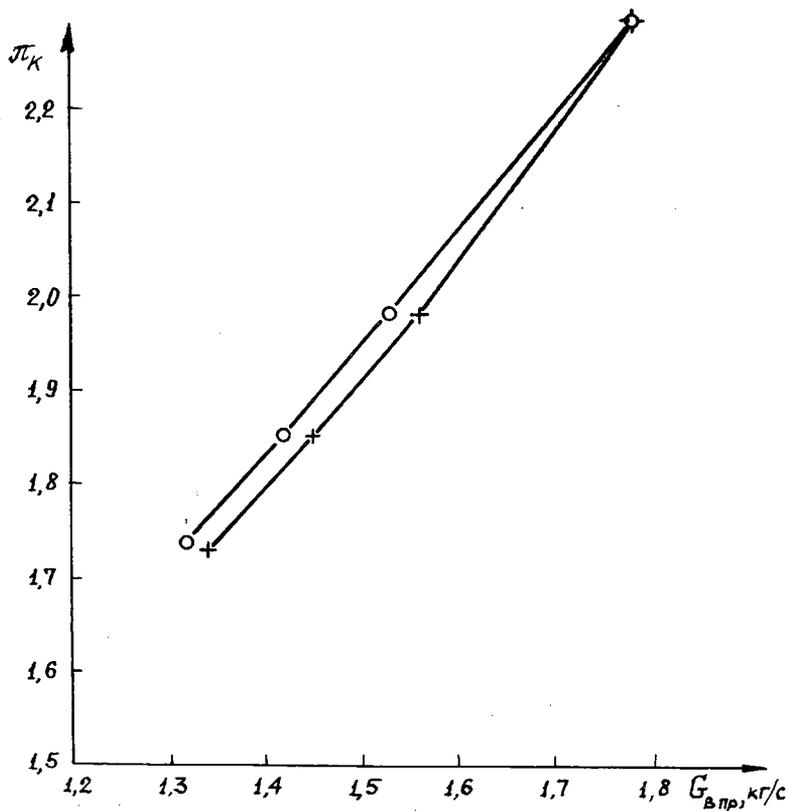
Линии совместной работы компрессора, загрузочного генератора и турбины $\pi_{TK}^* = G(G_{B.пр})$ строятся как показано на рис.2.6. Все кривые



Р и с. 2.4. Градуировочный график для определения приведенного расхода воздуха $Q_{пр}$



Р и с. 2.5. Дроссельная характеристика ТВад: \circ - первый режим, $+$ - второй режим



Р и с. 2.6. Линии совместной работы компрессора и турбины двигателя ДГ-4М

должны иметь свои обозначения для каждого положения реостата сопротивления загрузочного генератора, соответствующего определенному положению угла установки лопасти винта α_B (например, для первого положения реостата сопротивления кривые должны иметь знак \ast , а для второго - знак Δ или какой-либо другой, более удовлетворяющий автора).

2.7. Анализ результатов эксперимента

Согласно условию баланса мощности однофазного ТВД,

$$N_B + N_K = N_T \eta_m,$$

которое можно записать в виде

$$N_{B.y\bar{\omega}} + L_K = \eta_{B.r} (1 + q_T) \eta_m L_T,$$

где $N_{B.y\bar{\omega}} = \frac{N_B}{G_B}$ - удельная мощность, отводимая на вал винта;

$\eta_{B.r} = \frac{G_{B.K-e}}{G_B}$ - относительный расход воздуха через камеру сгорания;

$q_T = \frac{G_T}{G_B}$ - относительный расход топлива;

η_m - коэффициент механических потерь, учитывающий затраты мощности на привод вспомогательных агрегатов.

Потребная для вращения винта мощность может изменяться как при изменении его частоты вращения при постоянном угле установки лопастей винта α_β , так и при постоянной частоте вращения винта, но при изменении α_β (см. рис. 2.1). Для увеличения частоты вращения винта при $\alpha_\beta = const$ или при постоянной частоте вращения винта, но при увеличении α_β , необходимо увеличить подачу топлива в камеру сгорания (увеличить T_r^*), так как работа турбины

$$L_T = c_{pr} T_r^* \left(1 - \frac{1}{\pi_K^* \frac{K-1}{K_r}} \right) \eta_T^*.$$

При увеличении частоты вращения вала турбокомпрессора увеличиваются расход воздуха G_β и степень повышения давления компрессора π_K^* . При постоянной частоте вращения вала винта, но при увеличении α_β , расход воздуха G_β уменьшается, а степень повышения давления компрессора π_K^* увеличивается. Таким образом, при увеличении T_r^* увеличивается π_K^* , а расход воздуха G_β или увеличивается, или уменьшается (в зависимости от поведения частоты вращения).

Для проведения анализа протекания характеристик ТВД и положения линий совместной работы компрессора, воздушного винта и турбины одновального ТВД на характеристике компрессора нужно от руки (как объяснялось на лекции) изобразить характеристику компрессора, нанести на нее две линии совместной работы для двух различных углов установки лопасти винта α_β и выполнить анализ по предлагаемой методике. Результаты анализа необходимо сравнить с результатами эксперимента.

2.8. Материалы, представляемые к отчету

1. Бланк с записями результатов измерений для двух различных режимов работы двигателя, датой испытания, фамилией автора, номером группы, подписанный студентом, выполнившим измерения.

2. Обработанные протоколы испытаний для каждого угла установки лопастей винта α_β (см. приложение 1).

3. Дроссельные характеристики и линии совместной работы компрессора, воздушного винта и турбины одновального ТВД ДГ-4М. Экспериментальные графические зависимости должны быть подтверждены результатом анализа.

Все расчетные и графические зависимости должны быть подписаны автором с указанием даты, группы и номера протокола испытаний.

Лицевая сторона обработанного протокола испытаний (см. приложение 2) должна отражать суть работы (задание на ее содержание) и краткую характеристику испытательного стенда.

Величины, необходимые для расчета воздуха G_B , ΔP_{BX} , $\frac{H}{CM^2}$, $\pi(\lambda_{BX})$ $q(\lambda_{BX})$ и температура газа перед турбиной $T_r^*(q_r)$, определяются по результатам измерений с точностью до четырех значащих цифр после запятой.

Расход воздуха G_B и расход топлива G_T подсчитывается и определяется с точностью до второй значащей цифры после запятой.

Все остальные величины определяются с точностью до десятых долей.

Библиографический список

1. Нечаев Ю.Н., Федоров Р.М. Теория авиационных газотурбинных двигателей. Ч. П. - М.:Машиностроение, 1978. - 336 с.
2. Клячкин А.Л. Теория воздушно-реактивных двигателей. - М.:Машиностроение, 1969. - 512 с.
3. Масленников М.М., Шальман Ю.Н. Авиационные газотурбинные двигатели. -М.:Машиностроение, 1975. - 576 с.
4. Кулагин В.В. Совместная работа узлов и характеристики ГТД. - Куйбышев:КуАИ, 1975.
5. Трофимов А.А. Теория авиационных ГТД. Курс лекций (гл. I2 и I3).
6. Солохин Э.Л. Испытания авиационных воздушно-реактивных двигателей. -М.:Машиностроение, 1975. - 355 с.

Приложение I

Топливо ТС-1

$\rho_f = 0,783 \text{ г/см}^3$

Масло МК-8

ПРОТОКОЛ №

11 декабря 1985 г.

Принято: 05.05.85 г.

Атмосферные условия $V_H = 763 \text{ мм.рт.ст} = 10,18 \text{ м}^3/\text{см}^3$

Результаты эксперимента										Первичная обработка										Приведение к САУ									
№ п/п дечи мг	\bar{p}	ρ_c	P_f	$t_{\text{вх}}^*$	$t_{\text{кв}}^*$	t^*	$\Delta P_{\text{вх}}^*$	$\Delta P_{\text{кв}}^*$	W	$\frac{\Delta P_{\text{вх}}}{P_f}$	G_T	N_6	ρ_N^*	T_H^*	T_A^*	T_T^*	T_K^*	$T_{\text{вх}}^*$	$T_{\text{кв}}^*$	$T_{\text{гпр}}^*$	P_K^*	$P_{\text{кв}}^*$	$P_{\text{гпр}}^*$	$\frac{I}{M}$					
																									кВт	кВт	кВт	кВт	кВт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25					
1	1,0	17,8	44,5	20	124	450	33,53	305/295	40	0,058	50,0	32,69	10,18	293	395	723	2,29	1,78	49,38	32,05	710	389	23,35	2,997					
2	0,9	13,1	29,0	20	107	440	25,6	220/215	27,5	0,042	39,5	22,48	10,18	293	380	733	1,96	1,55	39,04	22,19	704	374	20,21	2,593					
3	0,85	11,2	24,5	20	98	440	22,15	165/165	23	0,036	36,5	18,80	10,18	293	371	713	1,85	1,42	36,05	18,56	700	364	18,84	2,3165					
4	0,8	9,6	20,5	20	89	439	19,1	160/160	19	0,030	33,0	15,55	10,18	293	362	712	1,74	1,32	32,59	15,30	698	364	17,66	2,0210					
5	1,0	17,0	39,5	20	126	435	32,36	305/295	30	0,058	47,0	24,32	10,18	293	399	716	2,29	1,78	46,41	24,18	704	395	23,35	2,7423					
6	0,9	12,8	26,5	20	108	420	25,35	220/220	21	0,043	38,5	17,16	10,18	293	381	693	1,98	1,56	38,02	16,90	611	374	20,14	2,1760					
7	0,85	11,25	22,0	20	98	420	22,15	160/160	17	0,037	34,5	15,90	10,18	293	371	693	1,85	1,42	34,07	15,72	681	365	18,84	2,3385					
8	0,8	9,8	19,0	20	89	418	19,0	160/160	14	0,030	32,0	11,44	10,18	293	362	691	1,73	1,34	31,60	11,24	679	356	17,65	2,0210					

Подпись:

Группа 332

Студент: Кудачев

МВССО РСФСР

Схема установки и основные формулы

Кужышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С.П.Королева

Факультет № 2

Лаборатория кафедры Т Д Л А

Работа №

З а д а н и е: Экспериментальное определение дрос-
сельной характеристики ТВД

По результатам эксперимента построить графики.
Краткая методика эксперимента: при 4-х фиксирован-
ных положениях рукоятки управления двигателем уста-
новить режимы \bar{n} - 1,0; 0,95; 0,90; 0,85 при фик-
сированном положении реостата сопротивления загруз-
очного генератора, что соответствует постоянному
углу установки лопасти винта α_B , измерить в ха-
рактерных сечениях параметры двигателя. Изменив
положение реостата сопротивления нагрузочного ге-
нератора (изменив α_B), повторить измерения при
тех же частотах вращения \bar{n} .

Э к с п е р и м е н т а л ь н а я у о т а -
н о в к а и е е д а н н ы е

Эксперимент выполняется на малоразмерном ТВД
ДГ-4М, мощность которого расходуется на привод
электрического генератора С-75. Системы измерения
аналогичны системам при испытаниях ТВД ТС-12.

