

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ**

КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ

Циклова комісія експлуатації та ремонту авіаційного транспорту

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

навчальної дисципліни «Теорія теплових двигунів»

обов'язкових компонент

освітньої програми першого (бакалавр) рівня вищої освіти

272 Авіаційний транспорт (Експлуатація та ремонт повітряних суден)

за розділом №1 – «Теорія газотурбінних двигунів»

за темою №2 – «Закони керування, характеристики і режими роботи ТРД.»

Лекція 11. «Вплив параметрів робочого процесу на параметри ТРД»

Харків 2021

СХВАЛЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 23.09.2021 № 8

СХВАЛЕНО

Методичною радою
Кременчуцького льотного коледжу
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 22.09.2021 № 2

СХВАЛЕНО

Секцією Науково-методичної
ради ХНУВС зі спеціальних
дисциплін
Протокол від 22.09.2021 № 8

Розглянуто на засіданні циклової комісії аеронавігації
Протокол від 30.08.2021 № 1

.

Розробник: викладач циклової комісії аеронавігації Ємець В.В.

Рецензенти:

1. Викладач циклової комісії аеронавігації, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, викладач-методист Тягній В.Г.
2. Завідувач кафедри технологій аеропортів Національного авіаційного університету, д.т.н., професор Тамаргазін О.А.

Розділ 1 Теорія газотурбінних двигунів

Тема 2. Закони керування, характеристики і режими роботи ТРД

Лекція 11. Вплив параметрів робочого процесу на параметри ТРД

1. Питома тяга ТРД

2. Вплив параметрів робочого процесу на к.к.д. ТРД

3. Вплив параметрів робочого процесу на питому втрату палива

Рекомендована література

Основна

1. Терещенко Ю.М., Бойко Л.Г. Мамлюк О.В. Газотурбінні двигуни літальних апаратів. – Київ, «Вища школа», 2000

Допоміжна

2. Теорія теплових двигунів. Термогазодинамічний розрахунок газотурбінних двигунів. за ред. проф.Ю.М. Терещенка. – Київ, Видавництво Національного авіаційного університету «НАУ-друк», 2009
3. Клячкин А.Л. Теория воздушно-реактивных двигателей. – М. Машиностроение, 1969
4. Вагин А.Н., Неспела А.Н., Семенюта В.А., Цыбалов И.Г. Теория авиационных двигателей. Ч.2. Основы теории реактивных двигателей. – М., Воениздат МО СССР, 1968

Інформаційні ресурси в Інтернеті

1. Питома тяга ТРД

Питоною тягою ТРД називається величина його тяги, яка доводиться на 1 кг повітря (газу), що проходить через двигун за секунду.

При роботі двигуна в польоті, коли $p_5 \neq p_H$:

$$P_{y\partial} = \frac{c_5 - V}{g} + \frac{f_B}{G_B} (p_5 - p_H) \quad (1)$$

При роботі двигуна в польоті, коли $p_5 = p_H$:

$$P_{y\partial} = \frac{c_5 - V}{g} \quad (2)$$

Зручніше визначати величину c_5 за параметрами робочого процесу ТРД π, Δ, η_c и η_p :

$$c_5 = \sqrt{2gL_u + V^2} \quad (3)$$

Тоді:

$$P_{y\partial} = \frac{\sqrt{2gL_u + V^2} - V}{g} \quad (4)$$

Якщо підставити вираження для L_u , отримаємо залежність питомої тяги від основних параметрів робочого процесу:

$$P_{y\partial} = \frac{1}{g} \left[\sqrt{2g \frac{k}{k-1} RT_H \frac{\pi^{\frac{k-1}{k}} - 1}{\eta_c} \left(\frac{m \Delta \eta_c \eta_p}{\pi^{\frac{k-1}{k}}} - 1 \right)} + V^2 - V \right] \quad (5)$$

Питома тяга залежить від ступені підвищення тиску в двигуні, від ступені підігрівання повітря, а також швидкості польоту. Перші дві залежності приведені на рис.1:

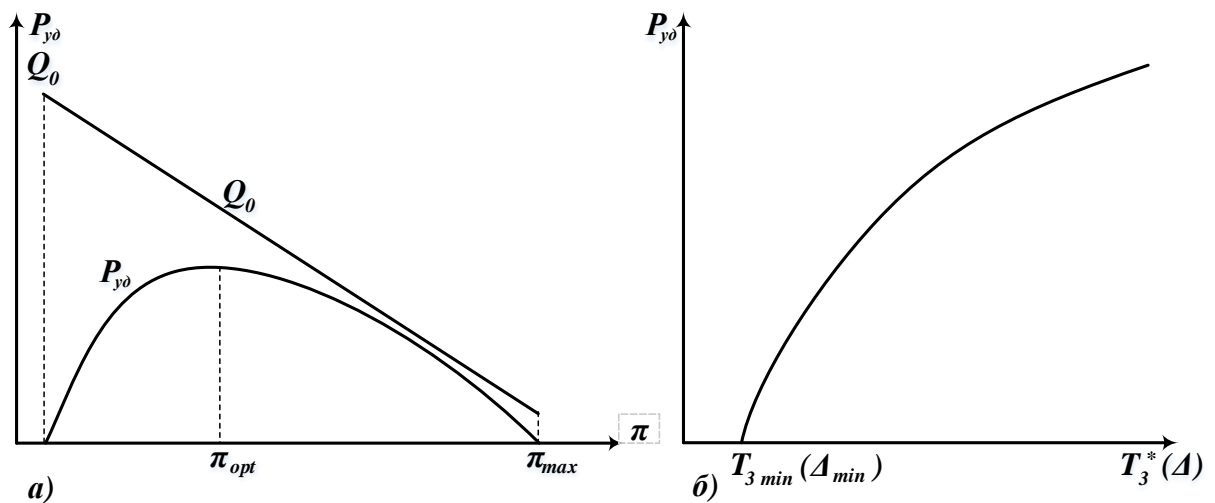


Рисунок 1. Залежність питомої тяги від ступені підвищення тиску (а) и ступені підігрівання (б).

Як видно з рис.1, при мінімальній степені підігрівання $\Delta_{\min} = \frac{\pi^{\frac{k-1}{k}}}{m\eta_c\eta_p}$ питома

тяга буде дорівнювати нулю, а при $\pi_{opt} = \left(m\Delta\eta_c\eta_p\right)^{\frac{k}{2(k-1)}}$ - буде мати максимальне значення. Q_0 - тепло, що підведено паливом в двигун на 1 кг повітря.

2. Вплив параметрів робочого процесу на к.к.д. ТРД

ТРД є одночасно тепловим двигуном і рушієм: в результаті здійснення теплового робочого процесу в в двигуні здійснюється робота циклу, а наслідком цієї роботи є створення тяги.

Добуток питомої тяги на швидкість польоту називається тяговою роботою, яка є корисною роботою двигуна.

Для характеристики ТРД як теплового двигуна вводиться внутрішній к.к.д., який є відношенням корисної роботи циклу (L_u) до тепла, яке внесено з паливом в двигун на 1 кг повітря (Q_0):

$$\eta_{вн} = \frac{AL_u}{Q_0} \quad (6)$$

де

$$Q_0 = \frac{Q}{\xi_{к.с.}} = \frac{c_{к.с.}(T_3^* - T_2^*)}{\xi_{к.с.}} \quad (7)$$

$$\eta_{вн} = \frac{A \frac{c_5^2 - V^2}{2g}}{Q_0} \quad (8)$$

Повнота перетворення корисної роботи циклу в тягову роботу характеризується тяговим к.к.д., який є відношення корисної тягової роботи до корисної роботи циклу:

$$\eta_P = \frac{L_{тяг}}{L_u} = \frac{P_{y0}V}{L_u} = \frac{\frac{c_5 - V}{2g}V}{\frac{c_5^2 - V^2}{2g}} = \frac{2}{1 + \frac{c_5}{V}} \quad (9)$$

Тяговий к.к.д. ТРД показує, яка частина корисної роботи циклу перетворюється в корисну тягову роботу.

Повним к.к.д. ТРД називається відношення корисної тягової роботи до тепла, що внесено з паливом в двигун на 1 кг повітря:

$$\eta_{\Pi} = \frac{AL_{тяг}}{Q_0} = \frac{AP_{y0}V}{Q_0} = \eta_{вн}\eta_P \quad (10)$$

Повний к.к.д. враховує усі втрати в двигуні і характеризує економічність двигуна.

На рис.2 показана залежність внутрішнього, тягового і повного к.к.д. від основних параметрів робочого процесу – π і Δ .

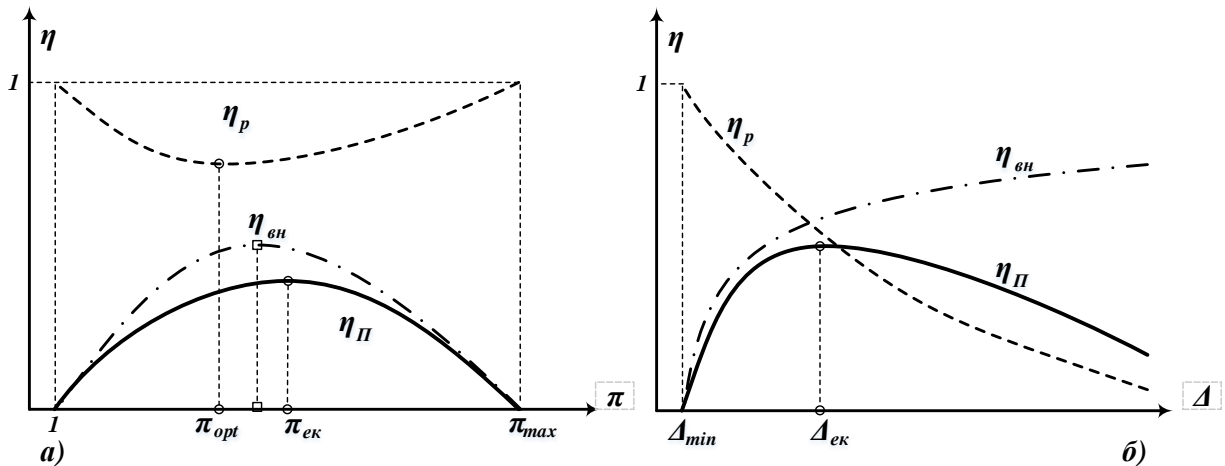


Рисунок 2. Залежність внутрішнього, тягового і повного к.к.д. від степені тиску і степені підігріву в двигуні.

При деякому мінімальному значенні степені підігріву внутрішній к.к.д. дорівнює нулю, так як тепло на підігрів повітря в двигуні витрачається, а робота циклу дорівнює нулю. Зі збільшенням степені підігріву повітря внутрішній к.к.д. збільшується і наближається до термічного к.к.д. ідеального циклу.

Тяговий к.к.д. при Δ_{min} дорівнює одиниці, так як $c_5 = V$. З ростом степені підігріву швидкість газу відносно навколишнього повітря, що виходить, зростає, тому збільшуються втрати кінетичної енергії, а тяговий к.к.д. зменшується.

Повний к.к.д. з ростом степені підігріву повітря спочатку зростає, а потім зменшується. Максимальне значення повний к.к.д. досягає при так званій економічній степені підігріву повітря.

Залежність внутрішнього, тягового і повного к.к.д. від степені тиску показана на рис.2а.

Тяговий к.к.д. при оптимальній степені підвищення тиску має мінімальне значення, так як $c_5 \rightarrow \max$. При $\pi = 1$ і $\pi = \pi_{max}$ $\eta_p = 1$.

Повний к.к.д. має максимальне значення при так званій економічній степені підвищення тиску ($\pi_{ек}$), а при $\pi = 1$ і $\pi_{max} = \pi_{opt}^2$ він дорівнює нулю, так як на цих режимах $L_u = 0$.

Економічною степеню підвищення тиску називається така величина π , при якій питома втрата палива при даній швидкості буде мінімальним.

Внутрішній к.к.д. досягає максимуму при $\pi_{opt} < \pi < \pi_{ек}$.

3. Вплив параметрів робочого процесу на питому витрату палива

Питома витрата палива визначається по формулі: $C_{y\partial} = \frac{G_{m.ч.}}{P}$, де $G_{m.ч.}$ - часова витрата палива. Для визначення залежності питомої витрати палива використовується рівняння балансу тепла: кількість тепла, що виділилося при згоранні палива в камері згорання, повинно дорівнювати кількості тепла що підведено до повітря.

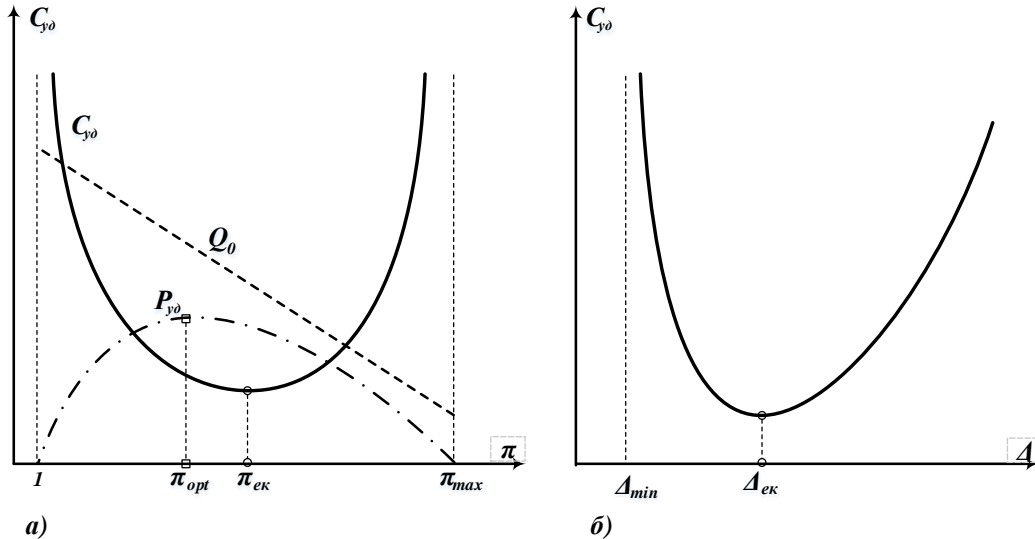


Рисунок 3. Залежність питомої витрати палива від степені тиску (а) і від степені підігріву (б)

Таким чином:

$$G_{m.ч.} = \frac{3600 G_e Q}{\xi_{к.с.} H_u} \quad (11)$$

звідси:

$$C_{y\partial} = \frac{3600 Q_0}{H_u P_{y\partial}} = \frac{3600 A V}{H_u \eta_{II}} \quad (12)$$

тобто при сталій швидкості польоту питома витрата палива визначає економічність роботи двигуна.

Питома витрата палива в значною степені залежить від степені підігріву повітря (рис.3б). При Δ_{min} , коли $P_{y\partial} = 0$, а $Q_0 \neq 0$, $C_{y\partial} \rightarrow \infty$. При збільшенні Δ $C_{y\partial}$ спочатку падає, так як зростає повний к.к.д, а потім, після досягнення Δ_{ek} зростає.

Економічною степеню підігріву робочого тіла називається така величина Δ_{ek} , при якій питома витрата буде мінімальною, а повний к.к.д. буде максимальним.

Залежність питомої витрати від степені тиску показана на рис.3а. При зміні степені тиску від 1 до π_{ek} питома витрата пального зменшується, в зв'язку зі збільшенням повного к.к.д. При $\pi > \pi_{ek}$ питома витрата збільшується.