

**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 №1 – «Робочі процеси, діючі в основних вузлах ГТД»

Лекція 7. «Камера згорання»

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 1. Робочі процеси, діючі в основних вузлах ГТД

Лекція 7. Камера згорання

- 1. Призначення, вимоги, типи, параметри*
- 2. Поняття про горіння вуглеводневих палив*
- 3. Теоретично необхідна питома кількість повітря для згорання палива і коефіцієнт надлишку повітря*
- 4. Теплотворна здатність пального і паливо-повітряної суміші.*
- 5. Організація процесу горіння в камері згорання*
- 6. Вплив режиму роботи двигуна на процес горіння*

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. Призначення, вимоги, типи, параметри камер згорання

Пальним зоветься речовина, яка складається з елементів, які в процесі хімічних реакцій віддають свої валентні електрони. В якості пального можуть використовуватися речовини, у змісті яких є вуглець, водень, бор та їх з'єднання (керосин, бензин, спирт, пентаборан та деякі інші).

Окиснювачем зоветься речовина, що складається в основному з елементів, які в процесі хімічних реакцій віднімають валентні електрони у елементів пального.

Сукупність пального та окиснювача зоветься **паливом**.

Камери згорання повинні відповідати таким вимогам:

1. Стійкість горіння паливо-повітряної суміші, во всьому діапазоні робочих режимів.
2. Висока повнота згорання – це зменшує питому витрату палива і збільшує дальність і тривалість польоту.
3. Мали втрати повного тиску. При збільшенні втрат повного тиску збільшується питома витрата палива і зменшується тяга двигуна.
4. Надійне запалювання при запуску двигуна.
5. Висока теплонапруженість – це зменшує розміри і вагу камери згорання.
6. На виході з камери згорання поле температур повинне забезпечувати мінімальні теплові напруження в лопатках турбин.
7. Надійна робота камери на протязі всього ресурсу двигуна.
8. Камери згорання повинні бути зручними в експлуатації.

Основні параметри, що характеризують камеру згорання:

Досконалість процесів, які течуть в камері згорання характеризуються трьома параметрами:

1. **Коефіцієнт виділення тепла** – це відношення приросту повної ентальпії газу, що проходить через КС за 1 сек, до теплотворної здатності всього палива, що було подано до КС за 1 сек (визначає досконалість процесу горіння):

$$\xi_{к.с.} = \frac{(i_3^* - i_2^*) G_{\Gamma}}{G_{\Pi} H_u} \approx 0,97 \div 0,98, \quad (1)$$

де i_3^*, i_2^* – повна ентальпія газу на виході з КС і повна ентальпія повітря на вході в КС відповідно;

G_{Γ}, G_{Π} – секундні витрати газу і палива;

H_u – робоча теплотворна здатність палива.

2. Коефіцієнт збереження повного тиску:

$$\sigma_{к.с.} = \frac{p_3^*}{p_2^*} \geq 0,94; \quad (2)$$

де p_2^*, p_3^* ; – повний тиск на вході і виході КС відповідно;

цей коефіцієнт враховує гідравлічні втрати повного тиску в КС: $\Delta p_{к.с.} = p_2^* - p_3^*$.

3. Теплонапруженість КС являє собою відношення тепла, що підведено в КС до газу за 1 год, до добутка об'єма КС на повний тиск повітря на вході в КС:

$$q_{к.с.} = \frac{\xi_{к.с.} H_u G_{II}}{V_{к.с.} p_2^*} \quad (3)$$

де $V_{к.с.}$ - об'єм КС, $q_{к.с.} \approx (30-50) \cdot 10^6 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^3 \cdot \text{атм} \cdot \text{год}}$.

За конструкційним виготовленням КС сучасних ГТД діляться на трубчасті (індивідуальні), кільцеві, трубчасто-кільцеві.

Основними елементами трубчастої КС є:

- кожух;
- жарова труба;
- форсунка;
- завихорювач;
- турбулізуючі ґрати.

Переваги:

- простота експериментального доведення;
- простота заміни в разі пошкодження в процесі експлуатації.

Недоліки:

- збільшення габаритів і ваги двигуна;
- недостатня жорсткість конструкції.

Кільцева КС являє собою загальну жарову трубу, усередині якої розташовані форсунки і завихорювачі. Жарова труба поміщена в захисний кожух.

Переваги:

- компактність;
- велика жорсткість;
- простота конструкції і технології виготовлення;
- мала вага.

Недоліки:

- відносна важкість експериментального доведення;
- неможливість заміни пошкодженої КС без розбирання двигуна.

Трубчасто-кільцева КС складається з окремих жарових труб, які розташовані усередині загального кожуха, на вході в КС встановлені форсунка і завихорювач.

Переваги:

- відносна легкість експериментального доведення;
- компактність;
- жорсткість.

Недоліки:

- велика вага;
- великі (в порівнянні з кільцевими КС) гідравлічні опори.

Жарови труби усіх типів КС мають перфорацію для подачі повітря в зону горіння.

4. Поняття про горіння вуглеводневих палив

Процес горіння – це хімічна реакція, реакція, що протікає між елементами пального і окисника, в процесі якої виникає тепло, яке нагріває робоче тіло (продукти згорання). Цей процес протікає бурно і супроводжується світінням зони горіння.

Основним паливом ГТД є керосин, а окиснювачем є кисень, який міститься в повітрі.

1 кг керосину складається з C кг вуглеця і H кг водня.

Реакція повного окиснювання вуглеця: $C + O_2 = CO_2 + \text{тепло}$. Атомна вага вуглеця 12, а кисня – 16, тобто для згорання 12 кг вуглеця потрібно 32 кг кисня (на 1 кг C йде $\frac{8}{3} O$).

Реакція повного окиснювання водня: $2H_2 + O_2 = 2H_2O + \text{тепло}$. Атомна вага водня 1, а кисня – 16, тобто для згорання 4 кг водня потрібно 32 кг кисня (на 1 кг H йде 8 кг O).

Теоретично необхідна кількість кисня для повного згорання 1 кг пального:

$$O_{\text{потр}} = \frac{8}{3}C + 8H \text{ (кг)}$$

3. Теоретично необхідна питома кількість повітря для згорання палива і коефіцієнт надлишку повітря

Найменша кількість окиснювача, яке потрібне для повного згорання 1 кг палива, зветься теоретично необхідною кількістю окиснювача.

В 1 кг повітря міститься 0,232 кг вільного кисню $O_{\text{віль}}$. Тому, на підставі приведенного вище теоретично необхідна кількість повітря:

$$L_0 = \frac{O_{\text{потр}}}{O_{\text{віль}}} = \frac{\frac{8}{3}C + 8H}{0.232} \left[\frac{\text{кг повітря}}{\text{кг палива}} \right] \quad (4)$$

В дійсності, в КС на 1 кг палива полається L_0 кількість повітря, це може бути $>$ або $< L_0$. В ГТД $L_0 \gg L_0$.

Відношення кількості повітря, дійсно поданого до КС для згорання 1 кг палива до теоретично необхідної зветься коефіцієнтом надлишку повітря:

$$\alpha = \frac{L_0}{L_0} \quad (5)$$

Якщо $\alpha > 1$ – суміш «бідна», $\alpha < 1$ – суміш «богата». У сучасних ГТД $\alpha = 3 \div 5$.

4. Теплотворна здатність пального і паливо-повітряної суміші.

Теплотворною здатністю пального зветься кількість тепла яке виділяється при повному згоранні 1 кг пального.

Розрізняють вищу і робочу теплотворності пального. Вища теплотворність вимірюється за допомогою калориметра і враховує теплоту конденсації водяної пари, що утворюється при згоранні водню.

Тому, робоча теплотворна здатність визначається за формулою:

$$H_u = H_0 - 5045 H^r \left[\frac{\text{ккал}}{\text{кг пального}} \right] \quad (6)$$

де – 5045 – тепло конденсації водяної пари.

5. Організація процесу горіння в камері згорання

У КС протікають два основні процеси: сумішоутворення і згорання. В процесі сумішоутворення здійснюється підготовка суміші пального з повітрям для швидкого і повного його згорання, які залежать від складу суміші, температури та тиску повітря, структури повітряного потоку і роду пального. Швидкість згорання буде максимальною при $\alpha=0,8\div0,9$ (за експериментальними даними). Оскільки керосин і бензин горять тільки у фазі пари, необхідно щоб зоні горіння состав суміші був забезпечений з урахуванням парової фази пального. Процес горіння в КС показано на рис.1.

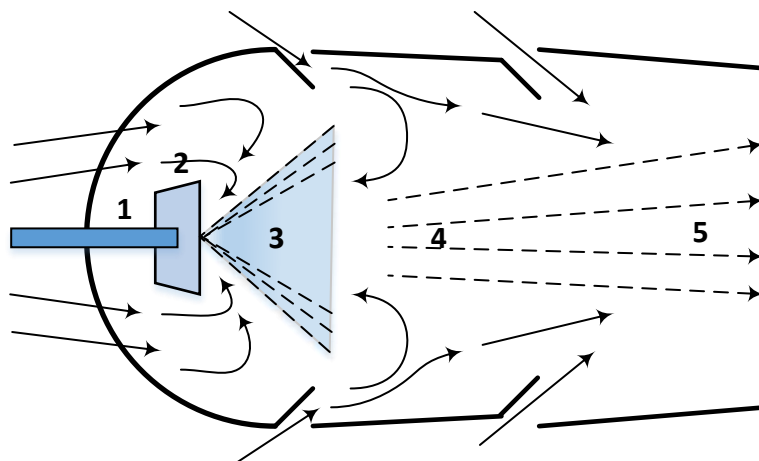


Рисунок 1. Схема робочого процесу в КС: 1 – форсунка; 2 – завихорювач; 3 – конус розпилю; 4 – зона горіння; 5 – зона змішування

Повітря поступає в КС з компресора зі швидкістю $100\div120$ м/с. Для зменшення гідравлічних втрат і зниження довжини КС повітря спрямовується в дифузор КС, де його швидкість зніжується до $50\div70$ м/с.

Розпил пального робиться відцентровими форсунками під тиском $60\div80$ ат, що забезпечує конус розпилю $110\div130^\circ$. Далі паливо роздробляється на маленькі краплі (з 1 куб см пального утворюється до 10 млн. краплин) і починає випаруватися.

В дифузорі КС повітряний потік розділяється на дві частини. Менша частина ($20 - 50\%$) проходить усередину жарової труби через завихорювач, а також через перфорацію в передній частині, змішується з розпиленням паливом і приймає безпосередню участь в процесі горіння. Ця частина повітря називається **первинним**

повітрям. Первинне повітря повинно підводиться поступово по довжині зони горіння. Це пов'язано з тим, що спочатку, для утворення паливного факелу, вимагається невелика кількість повітря. Для повного згорання паливно-повітряної суміші і відвертання дисоціації при високій температурі потрібна кількість повітря росте.

Найвигідна концентрація в зоні горіння характеризується $\alpha = 1,1 \div 2,0$.

Більша частина повітря (50 – 80% – вторинне повітря) заповнює кільцеву порожнину між жаровою трубою і зовнішнім кожухом, далі, через систему отворів поступає в зону змішування. Її призначення – охолодження температури гарячих газів до безпечного рівня, який визначається умовами забезпечення міцності лопаток турбіни.

6. Вплив режиму роботи двигуна на процес горіння

А) При зменшенні температури зовнішнього повітря зменшується температура на вході в КС. При цьому кількість тепла, що потрібне для нагріву суміші до температури горіння збільшується, а випарування пального зменшується. Тому швидкість і повнота згорання зменшується.

Б) При зміні швидкості і висоти польоту змінюються температура і тиск на вході в КС. При збільшенні швидкості і зменшенні висоті процес згорання покращується і, навпаки, при зменшенні швидкості і збільшенні висоти процес згорання погіршується.

В) При суттєвому зниженню числа обертів двигуна від розрахункового зменшується витрата повітря і пального. Це веде до погіршення процесу згорання.