

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

Циклова комісія технічного обслуговування авіаційної техніки

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

навчальної дисципліни
«Пально-мастильні матеріали»
вибіркових компонент
освітньо - професійної програми першого (бакалаврського) рівня

Аеронавігація

за темою № 3 – Паливо для авіаційних реактивних двигунів.

Кременчук 2023

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 27.11 .2023 р. № 10

СХВАЛЕНО

Методичною радою
Кременчуцького льотного коледжу
Протокол від 20.11.2023 р. № 4

ПОГОДЖЕНО

Секцією науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від 24.11.2023 р. № 10

Розглянуто на засіданні циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки, протокол від 06. 11. 2023 р. № 10

Розробник:

1. Викладач циклової комісії комісії технічного обслуговування авіаційної техніки, спеціаліст вищої категорії, викладач – методист Реута А. В.

Рецензент:

1. Викладач циклової комісії аеронавігації Кременчуцького льотного коледжу Харківського національного університету внутрішніх справ, спеціаліст вищої категорії, викладач-методист, к.т.н., с.н.с. Тягній В.Г.;

2. Завідувач кафедри технологій аеропортів Національного авіаційного університету, доктор технічних наук, професор Тамаргазін О.А.

План лекції

1. Сорти палив для ГТД. Вітчизняні застосування палива. Взаємозамінність вітчизняних і закордонних палив.
2. Перспективні палива для ГТД. Хімічний склад палив для ГТД.

Рекомендована література:

Основна література:

1. Бойченко С. В., Іванов С. В., Бурлака В. Г. Моторні палива і масла для сучасної техніки: монографія. Київ: НАУ, 2015. 216 с. Режим доступу: <https://er.nau.edu.ua/handle/NAU/38010>
2. Бойченко С. В., Спіркін В. Г. Вступ до хімотології палив та олив: навчальний посібник. Одеса: Астропринт, 2009. Ч.1. 236 с. Режим доступу: <https://er.nau.edu.ua/handle/NAU/39106>
3. Моторні палива: властивості та якість [текст] підручник / Сергій Бойченко, Андрій Пушак, Петро Топільницький, Казимир Лейда; за заг. ред. проф. С. Бойченка. – К. : «Центр учбової літератури», 2017. – 324 с. Режим доступу: <https://er.nau.edu.ua/handle/NAU/39105>

4. Допоміжна література:

1. Карпинець А. П. Лекції з курсу «Використання експлуатаційних матеріалів та економія Пально-енергетичних ресурсів» : навч. посібник. Горлівка, 2014. 107 с. Режим доступу: <https://ea.donntu.edu.ua/bitstream/123456789/27470/2/%D0%92%D0%95%D0%9C%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82.pdf>
2. Чабанний В. Я., Магопець С. О., Мажейка О. Й. Паливо-мастильні матеріали, технічні рідини та системи їх забезпечення: навч. посібн. Кіровоград: Центрально-Українське видавництво, 2008. ч.1. 353 с. Режим доступу: https://library.kr.ua/wp-content/elib/chabanniy/Chabanniy_Pal_mast_Mater_kn1.pdf
3. Чабанний В. Я., Магопець С. О., Осипов І. М. Паливо-мастильні матеріали, технічні рідини та системи їх забезпечення : навч. посібн. Кіровоград: Центрально-Українське видавництво, 2008. ч.2. 500 с. Режим доступу: https://library.kr.ua/wp-content/elib/chabanniy/Chabanniy_Pal_mast_Mater_kn2.pdf
4. Сизова З.О. Конспект лекцій з дисципліни «Хімотологія» : навч. посібн. Харків, 2013. 83 с. Режим доступу: <https://docplayer.net/amp/111468418-Konspekt-lekciy-z-disciplini-himotologiya.html>

5. ГСТУ 320.00149943.007-97. Паливо для реактивних двигунів «РТ». [Чинний від 1997-06-15]. Держнафтогазпром України, 1997. 19 с. (Галузевий стандарт України).
6. ГСТУ 320.00149943.011-99. Паливо ТС-1 для реактивних двигунів. [Чинний від 1999-07-01]. Держнафтогазпром України, 1999. 27 с. (Галузевий стандарт України).
7. ДСТУ 4796:2007. Паливо авіаційне для газотурбінних двигунів ДЖЕТ А-1. [Чинний від 2007-10 -01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2007. 8 с. (Національний стандарт України). Режим доступу: https://www.ksv.biz.ua/GOST/DSTY_ALL/DSTU2/dstu_4796-2007.pdf
8. ДСТУ 7687:2015. Бензини автомобільні євро. Технічні умови. [Чинний від 2016-01 -01]. Київ : УкрНДНЦ, 2015. 15 с. (Національний стандарт України). Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=94717
9. ДСТУ 7688:2015. Паливо дизельне євро. Технічні умови. [Чинний від 2016-01 -01]. Київ : УкрНДНЦ, 2015. 15 с. (Національний стандарт України). Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=62099
10. Інструкція про порядок приймання, транспортування, зберігання, відпуску та обліку нафти і нафтопродуктів на підприємствах і в організаціях України. 2008 р. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0805-08#Text>
11. Наказ від 08.12.2016 № 662 Про затвердження Інструкції з контролю якості пально-мастильних матеріалів та спеціальних рідин у державній авіації України/ Верховна Рада України. Чинний від 17.02.2017. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0060-17#Text>

Текст лекції

1. Сорти палив для ГТД. Вітчизняні застосування палива. Взаємозамінність вітчизняних і закордонних палив.

Виробництво палив для авіаційних двигунів є одним з пріоритетних напрямів, що розвиваються у нафтопереробній галузі в світі. Це передусім зумовлено збільшенням парку повітряних суден.

За прогнозом у 2004–2013 рр. у світі буде побудовано 5835 великих пасажирських і транспортних літаків. Натепер у світі нараховують близько двох тисяч авіакомпаній, які володіють 50 тис. літаків.

Світовий об'єм виробництва палив для реактивних двигунів (РД) становить понад 200 млн т/рік. Найбільше їх виробляють у США та Росії.

За призначенням: палива для РД поділяють на дві групи:

- палива для дозвукової авіації;
- палива для надзвукової авіації.

За способом виробництва палива для РД поділяють на прямогонні Т-1, Т-2, ТС-1, термостабільні — РТ, Т-6, Т-8В, сумішеві — ТС-1, Т-2.

За випаровуваністю палива для дозвукової авіації поділяють на палива типу гасу Т-1, ТС-1, РТ, Т-1С та палива типу широкої фракції Т-2.

Якість палив характеризується комплексом показників, передбачених державними стандартами.

Фізико-хімічні властивості палив для ГТД визначаються природою та властивостями сировини, способами отримання базових фракцій, методами їх очищення та змішування, а також властивостями функціональних додатків.

Якість палив характеризується комплексом показників, передбачених відповідними стандартами.

У більшості випадках палива для ПРД отримують прямою перегонкою. Також застосовуються методи вторинної (деструктивної) переробки нафти. У той же час, у деяких країнах широкого розповсюдження набули палива, що отримують переробкою такої сировини, як вугілля та горючі сланці. Це обумовлено переважно наявністю певних сировинних ресурсів на території країни – виробника палива.

Натепер в Україні широкого застосування набули три марки палива для ПРД: РТ, ТС-1 та Jet A-1 .

Паливо марки ТС-1 для дозвукової та надзвукової авіації з обмеженою тривалістю надзвукового польоту виробляється як прямогонним, так і сумішевим. Для вироблення сумішевого палива в прямогонну фракцію нафти додають гідроочищений компонент .

Технічні характеристики такого палива визначаються галузевим стандартом

ГСТУ 320.00149943.011–99. Паливо марки РТ є гідроочищеним і може замінювати паливо ТС-1. Крім того, воно більш термостабільне і допускає нагрівання у паливній системі ЛА до вищих температур, а отже, може використовуватися в більш теплонапружених двигунах літаків з підвищеною протяжністю надзвукового польоту. Вимоги до палива марки РТ визначаються галузевим стандартом ГСТУ 320.00149943.007–97. Паливо марки Jet A-1 є керосиновим нафтовим паливом, відповідає вимогам міжнародних стандартів і може використовуватися для більшості ГТД. Воно має дещо вищу температуру спалаху і температуру самозаймання порівняно з паливами марок ТС-1 та РТ. В Україні якість палива Jet A-1 визначається державним стандартом ДСТУ 4796:2007.

Основні вимоги до палив для реактивних двигунів:

- Воно повинно повністю випаровуватися, легко займатися і швидко згоряти в двигуні без зриву, не утворюючи парових пробок в паливній системі, не утворювати нагару та інших відкладень в двигуні;

- Об'ємна теплота згоряння його та густина повинні бути можливо високими;

- Воно повинно легко прокачуватися по паливній системі та мати оптимальні низькотемпературні характеристики;

- Паливо і продукти його згоряння не повинні викликати корозії деталей двигуна;

- Воно має бути стабільним і менш пожеже небезпечним при зберіганні і застосуванні.

2. Перспективні палива для ГТД. Хімічний склад палив для ГТД.

До паливних систем ПС ставляться такі вимоги: надійна, безвідмовна робота у діапазоні зовнішніх тисків від 100 кПа (1 кгс/см²) під час роботи двигуна на землі, до 10 кПа (0,1 кгс/см²) і менше в умовах польоту ПС на висоті, наприклад, 15 000 м і вище. Діапазон робочих температур ПС дуже широкий і знаходиться у межах від – 40 °С до 130 °С. При цьому наземна техніка працює у діапазоні тисків від 90 кПа (0,9 кгс/см²) до 100 кПа.

Об'єм палива на борту ПС визначається його призначенням і коливається у межах від 5 до 200 м³ і більше. На літаку Boeing-747, наприклад, місткість паливних баків складає приблизно 180 м³. Паливні баки літаків з одного боку сполучені через паливну магістраль з камерою згорання двигуна, а з

другого боку – через дренажну систему – з атмосферою. Паливо на борту розміщено у відсіках, об'єм яких не перевищує 5–8 м³.

Випаровуваність - одне з найважливіших експлуатаційних властивостей реактивних палив. Вона характеризує швидкість утворення горючої суміші палива і повітря і тим самим впливає на повноту і стабільність згоряння і пов'язані з цим особливості роботи ПРД: легкість запуску, нагароутворення, димлення, також надійність роботи паливної системи. Інтенсивність і повнота випаровування палива в двигуні залежать від хімічного складу палива, конструкції двигуна, особливостей подачі палива і способу утворення паливо повітряної горючої суміші.

Випаровуваність оцінюють фракційним складом і тиском насичених парів. Для реактивних палив нормуються температура початку кипіння, 10-, 50-, 90- і 98% -го википання фракції.

За таким показником, як *температура початку перегонки*, судять про пожежонебезпеку палива, присутність в паливі найбільш легких фракцій, схильності до утворення парових пробок у паливній системі і виникнення кавітації в насосах. Чим нижче зазначена температура, тим більша небезпека порушення роботи паливної системи і більше втрати від випаровування. Пускові властивості та приблизний вміст легких компонентів певною мірою характеризує температура *перегонки 10% обсягу* палива.

Температура википання 50% обсягу характеризує середню випаровуваність палива і визначає тривалість прогріву двигуна, приємістість палива, стійкість роботи на низьких оборотах. Чим вище температура википання 50% обсягу палива, тим гірше паливо випаровується і тим більше час прогріву двигуна. Приємістість і стійкість роботи двигуна буде тим краще, чим нижче температура, при якій википає 50% обсягу палива.

Температура википання 90% і 98% обсягу характеризує вміст у паливі високомолекулярних вуглеводнів, важковипаровуючих фракцій які косвенно характеризують низькотемпературні властивості палива, димлення і нагароутворення в камері згоряння. Чим вище ці температури, тим важче досягаються висока повнота згоряння палива.

Різна випаровуваність палив по-різному впливає на техніко-економічні показники транспортних засобів. Відомо, що паливо, що має більшу густину та більшу теплоту згорання (непряме свідчення про порівняно невисоку випаровуваність) збільшує дальність і тривалість польоту. Наприклад, якщо паливо марки Т-1 ($\rho_4^{20} = 810 \text{ кг/м}^3$) замінити паливо марки Т-2, густина якого на 7 %

менше, а випаровуваність більше на ту саму величину, то тривалість

польоту ПС зменшиться на 6 %. Таким чином, втрати легких фракцій палива, через його випаровування, в умовах польоту здатні впливати на дальність і тривалість польоту літака. За певних умов польоту можуть навіть створитися умови для кипіння палива, що призведе до значних його втрат із систем паливоживлення через дренажну систему в атмосферу.

Під час польоту на паливах, що легко випаровуються, внаслідок утворення парових пробок у паливній системі та порушення нормальної роботи паливних насосів може зменшитись максимальна висота польоту. Крім впливу на кількісні втрати у висотних умовах випаровуваність палив може сприяти утворенню парових пробок у паливних магістралях системи паливоживлення літака. За збільшення тиску насиченої пари P_n погіршується робота паливоподавальних насосів. Тому з метою забезпечення надійної необхідної подачі палива до камери згорання двигуна розміри і потужність насосів під час використання палива типу широкої фракції мають бути значно збільшеними.

Так, для перекачування палива з $P_s = 49$ кПа (360 мм рт.ст.) необхідні насоси у 2–4 рази більше за розмірами, ніж для перекачування палива типу гасу з відносно невеликим значенням тиску насиченої пари. В іншому випадку, коли тиск перед підкачувальним насосом стане нижче від зовнішнього тиску, настають кавітаційні режими роботи насосів. Тому прийнято вважати, що кавітаційний запас паливних насосів повинен складати 20–30 % ТНП відповідного типу палива. Крім того, схильність до утворення парових пробок визначається за величиною співвідношення парової та рідинної фаз V_p / V_r . Співвідношення $V_p / V_r = 2$ вважається граничним, так як за $V_p / V_r \gg 2$ відбувається інтенсивне утворення парових пробок. Існує думка, що зі зменшенням випаровуваності палив, що виражається обважненням фракційного складу, веде до збільшення нагароутворення і появи таких дефектів, як тріщини і жолоблення стінок камери згорання, зміна гідрравлічних характеристик форсунок, корозійно-ерозійне руйнування металу камери згорання і лопаток соплового апарату. Враховуючи великий вплив нагару на надійність роботи силових установок, нагароутворюючі характеристики палив нормують і регламентують за вмістом бі- і моноциклічних ароматичних вуглеводнів, фактичних смол, а також висотою не кіптявого полум'я, відношенням вуглецю до водню (C/H). У той же час дослідження використання палива в умовах польоту показують, що більше нагароутворення на форсунках двигуна виникає під час використання широкофракційного палива марки Т-2, менше – у ТС-1 і РТ. Пояснюється це тим, що за однакових умов впорскування розпилування палива марки Т-2

порівняно з паливом марки ТС-1 краще. Під час роботи двигуна на паливі Т-2 на торець форсунки повітряними завихреннями з паливного факела заноситься значна кількість рідкої фази, у результаті чого збільшується кількість нагару.

Однією з найбільш характерних властивостей рідин є здатність змінювати форму під дією зовнішніх сил. Ця властивість рідини пояснюється легкою рухливістю (ковзанням) її молекул однієї відносно другої.

В'язкістю, або внутрішнім тертям, називають властивість рідини або газу здійснювати опір взаємному переміщенню частинок під дією зовнішніх сил. Для нормальних ньютонівських рідин, що являють собою індивідуальні речовини, або молекулярно-дисперсійні суміші, або розчини, внутрішнє тертя (в'язкість) за заданих температури і тиску є постійною фізичною властивістю. В'язкість не залежить від умов визначення та швидкості руху частинок, якщо не створюються умови для турбулентного руху.

Однак для колоїдних розчинів внутрішнє тертя значно змінюється за різних умов потоку, зокрема під час зміни швидкості течії. Аномальне внутрішнє тертя колоїдних систем називають структурною в'язкістю. Більшість рідких нафтопродуктів не виявляють ознак структурної в'язкості у широкому температурному діапазоні. Хоча вони і є відносно складними, асоційованими рідинами, вони не мають колоїдної структури, ознаки яких проявляються для рідких нафтопродуктів лише за низьких температур, наближених до температури втрати текучості. Внутрішнє тертя або в'язкість характеризується величиною η , що має назву динамічної в'язкості. Одиницею вимірювання динамічної в'язкості є паскаль-секунда (Па·с).

Кінематична в'язкість ν дорівнює відношенню динамічної в'язкості рідини η до її густини ρ за тієї ж температури: $\nu = \eta/\rho$.

Одиниця вимірювання – квадратний метр за секунду або квадратний міліметр за секунду ($\text{м}^2/\text{с}$ або $\text{мм}^2/\text{с}$). В'язкість палив визначається за допомогою капілярних віскозиметрів за температури 20 °С. У досліді вимірюється час, необхідний для витікання певного об'єму палива через калібрований капіляр.

Для визначення кінематичної в'язкості палив використовують чистий, сухий віскозиметр, числове значення якого становить 0,003–0,005 $\text{мм}^2/\text{с}^2$.

Для авіаційних палив регламентується в'язкість за позитивних і негативних температур. Це створює підстави оцінювати прокачуваність палива як експлуатаційної властивості.

Водорозчинні (неорганічні) кислоти та луги залишаються в паливі за неякісної нейтралізації кислот та лугів під час технологічного процесу

очищення. Ці сполуки мають сильний корозійний вплив їх присутність в паливі не допускається.

Авіаційне паливо не містить водорозчинних кислот і лугів у тому випадку, коли реакція у його середовищі становить 6–8 рН. Водорозчинні кислоти та луги видаляються з палива дистильованою водою.

Температура спалаху – це температура, за якої паливо, що нагрівається у чітко регламентованих умовах, виділяє таку кількість пари в навколишнє середовище, що утворює з навколишнім середовищем суміш, здатну до короткочасного утворення полум'я під час піднесення вогню. Мінімальна температура, за якої нафтопродукт у разі піднесення зовнішнього джерела запалювання загорається та продовжує стійко горіти протягом не менш ніж 5 с,

називається температурою запалювання.

Спалахування нафтопродуктів – це вибух малих розмірів. Однак вибухати можуть не всі суміші пари з повітрям: спалахування пари відбувається у певному діапазоні концентрації пари у повітрі. За дуже низької концентрації (бідна суміш пари) не відбувається вибуху, оскільки надлишок у суміші повітря у вихідній точці вибуху відразу ж поглинає виділену теплоту.

За дуже великої концентрації пари у повітрі суміш не вибухає тому, що в ній недостатньо кисню для утворення вибуху. Вибух чи спалахування пари відбувається у межах певної концентрації пари, що має назву «нижня межа здатності до вибуху» або мінімальна концентрація пари у суміші з повітрям, що здатна спалахнути з утворенням вибуху, і «нижня межа здатності до вибуху», що характеризується максимальною концентрацією пари у суміші з повітрям, що здатна вибухнути в разі піднесення полум'я або проскакування іскри.

Таким чином, температура спалаху характеризує вибухонебезпечні властивості палива. Спалахування таких нафтопродуктів, як гас, дизельне паливо та інші палива, відбувається у нижній межі спалахуваності, оскільки пружність пари палива за кімнатної температури недостатня для утворення вибухонебезпечної концентрації, і продукт необхідно нагрівати. Бензинові фракції, що мають підвищену пружність пари, вже за кімнатної температури виділяють достатню кількість пари, що у суміші з повітрям спалахує, тому для визначення їх температури спалаху необхідно знизити температуру.

За температурою спалаху можна судити про вміст легко киплячих компонентів у тих чи інших нафтопродуктах. Температура спалаху і

температура займання залежать від фракційного складу нафтопродукту і температури початку кипіння, тиску пари спалаху і температура займання залежать від фракційного складу нафтопродукту і температури початку кипіння, тиску пари і пружності пари нафтопродукту, його випаровуваності, а також зовнішнього тиску. Чим вища температура кипіння, тим вища його температура спалаху і навпаки.