

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

**Циклова комісія технічного обслуговування авіаційної техніки**

**ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ**

з навчальної дисципліни  
«Транспортні пально-мастильні матеріали»  
обов'язкових компонент  
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

**272 Авіаційний транспорт**  
**(Технології робіт та технологічне обладнання аеропортів)**

**за темою № 6 – Пальне для повітряно-реактивних двигунів**

**Кременчук 2023**

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

Науково-методичною радою  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 30.08.2023 № 7

**СХВАЛЕНО**

Методичною радою  
Кременчуцького льотного коледжу  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 28.08.2023 № 1

**ПОГОДЖЕНО**

Секцією науково-методичної ради  
ХНУВС з технічних дисциплін  
Протокол від 29.08.2023 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки, протокол від 28.08.2023 № 1

**Розробник:**

*Викладач циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки, спеціаліст вищої категорії, викладач - методист Давітая О. В.*

**Рецензенти:**

- 1. Доцент кафедри автомобілів та тракторів Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, к.т.н., доцент Павленко О. В.;*
- 2. Професор навчального відділу КЛК ХНУВС, к.х.н., доцент Козловська Т. Ф.*

## План лекції

1. Хімічний склад палив для ПРД.
2. Умови використання палив в повітряно-реактивних двигунах.
3. Експлуатаційні властивості палив для ПРД.

## Рекомендована література:

### Основна

1. Бойченко С. В. Моторні палива: властивості та якість: підручник. Київ : Центр учбової літератури, 2017. 324 с. URL:<https://klk.univd.edu.ua/uk/dir/177/biblioteka> (дата звернення: 10.08.2023).
2. Бойченко С. В., Спіркін В. Г. Вступ до хімотології палив та олив : навчальний посібник. Одеса: Астропринт, 2009. Ч.1. 236 с.
3. Бойченко С. В., Любінін Й. А., Спіркін В. Г. Вступ до хімотології палив та олив : навчальний посібник. Одеса: Астропринт, 2009. Ч.2. 276 с.
4. Полянський С.К., Коваленко В.М. Експлуатаційні матеріали для автомобілів і будівельно-дорожніх машин : підручник . Київ : Либідь, 2005. 504с.  
URL:<https://prom.ua/ua/p1824906114-polyanskij-kovalenko-ekspluatatsijni.html> (дата звернення: 05.08.2023).

### Додаткова

5. 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.  
URL : [https://library.kr.ua/wp-content/elib/chabanniy/Chabanniy\\_Pal\\_mast\\_Mater\\_kn1.pdf](https://library.kr.ua/wp-content/elib/chabanniy/Chabanniy_Pal_mast_Mater_kn1.pdf) (дата звернення: 25.07.2023).
6. Чабанний В. Я., Магопець С. О., Осипов І. М. Паливо-мастильні матеріали, технічні рідини та системи їх забезпечення : навч. посібн. Кіровоград: ЦентральноУкраїнське видавництво, 2008. ч.2. 500 с. URL : [https://library.kr.ua/wp-content/elib/chabanniy/Chabanniy\\_Pal\\_mast\\_Mater\\_kn1.pdf](https://library.kr.ua/wp-content/elib/chabanniy/Chabanniy_Pal_mast_Mater_kn1.pdf) (дата звернення: 13.07.2023).
7. ГСТУ 320.00149943.007-97. Паливо для реактивних двигунів «РТ». [Чинний від 1997-06-15]. Держнафтогазпром України, 1997. 19 с. (Галузевий стандарт України).
8. ГСТУ 320.00149943.011-99. Паливо ТС-1 для реактивних двигунів. [Чинний від 1999-07-01]. Держнафтогазпром України, 1999. 27 с. (Галузевий стандарт України).
9. 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).

## Текст лекції

### 1. Хімічний склад палив для ПРД.

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 біль-шості 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. Умови використання палив в повітряно-реактивних двигунах.**

До паливних систем ПС ставляться такі вимоги: надійна, безвідмовна робота у діапазоні зовнішніх тисків від 100 кПа (1 кгс/см<sup>2</sup>) під час роботи двигуна на землі, до 10 кПа (0,1 кгс/см<sup>2</sup>) 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/см<sup>2</sup>) до 100 кПа.

Об'єм палива на борту ПС визначається його призначенням і коливається у межах від 5 до 200 м<sup>3</sup> і більше. На літаку Boeing-747, наприклад, місткість паливних баків складає приблизно 180 м<sup>3</sup>. 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 м<sup>3</sup>.

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, приємистість палива, стійкість роботи на низьких оборотах. Чим вище температура википання 50% обсягу палива, тим гірше паливо випаровується і тим більше час прогріву двигуна. Приємистість 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 згорання. Чим вище ці температури, тим важче досягаються висока повнота згорання 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 паливом 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  $P_s = 49 \text{ кПа}$  (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 гідравлічних 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 розпилювання 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.

### **3. Експлуатаційні властивості палив для ПРД.**

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  $\eta$ , що має назву динамічної в'язкості. Одиницею вимірювання динамічної в'язкості є паскаль-секунда (Па·с).

Кінематична в'язкість  $\nu$  дорівнює відношенню динамічної в'язкості рідини  $\eta$  до її густини  $\rho$  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 дистилюваною 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 короточасного 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.

**Температура початку кристалізації** –  $t_{п.к.}$  називають максимальну температуру, за якої в паливі неозброєним оком видно кристали його компонентів. Цей показник значною мірою умовний, оскільки паливо складається із суміші вуглеводнів, що кристалізуються за різної температури.

Авіаційні палива можуть переохолоджуватися (у висотних умовах), тому температура початку їх кристалізації визначається в строго регламентованих умовах (об'єм проби палива, конструкція охолоджувальної посудини, швидкість охолодження, швидкість перемішування й спосіб виявлення появи перших кристалів).

Для визначення температури початку кристалізації пробу палива повільно охолоджують і періодично розглядають її на світлі. При цьому для порівняння розглядають зразок такого ж палива, що має температуру навколишнього середовища.

### **Горючість та енергетичні властивості палива**

Горючість – одна з визначальних властивостей палив для ПРД. Від неї залежать дальність польоту літаків, економічність і ресурс ГТД, обсяг і періодичність їх технічного обслуговування. До показників цієї властивості входять (поряд з іншими) теплота згорання, ВНП, ЛЧ і маса нагару на модельній установці. Визначення перших показників експериментальними методами можливе тільки в добре обладнаних лабораторіях, а такого показника, як маса нагару на модельній установці, – тільки в спеціалізованих лабораторіях. Для цього також застосовуються розрахункові методи, що істотно полегшує роботу як розробників, так і споживачів палива, а також значно прискорює й здешевлює випробування палива.

### **Хімічна та термоокиснювальна стабільність**

*Хімічна стабільність* – це здатність палива зберігати свій хімічний склад і властивості під час зберігання, транспортування й використання.

*Термоокиснювальна стабільність* – стандартизований показник якості авіаційного палива, що характеризує його здатність зберігати свої властивості під дією високих температур в умовах паливної системи ПС. Цей показник регламентується відповідними стандартами, що встановлюють вимоги до рівня якості палив для ПРД. Оцінюється термоокиснювальна стабільність авіаційного палива у статичних і динамічних умовах. Методики визначення цих показників якості – стандартні. Тривале зберігання палива призводить до утворення смол і осадів, що пояснюється окисненням рідини, що протікає на поверхні, тобто на межі паливо – повітря, а також окиснення палива через розчинений у паливі кисень.

Візуальними ефектами цього процесу є поступова зміна свого кольору через накопичення смолистих речовин, що спочатку розчинені в середовищі нафтопродуктів, а потім випадають з них у вигляді осаду на дно резервуарів. Утворення смолистих речовин і осадів – складний фізико-хімічний процес, що залежить від хімічного складу нафтопродуктів, наявності води й механічних домішок, а також від зовнішніх умов: температури, часу зберігання, співвідношення рідкої й парової фаз, контакту з металами.

Окиснення вуглеводнів відбувається за вільно-радикальним (ланцюговим) механізмом.

Найбільш інтенсивно процеси утворення смол протікають у паливах, що містять значну кількість ненасичених вуглеводнів. Вони містяться в значній кількості, в основному, в бензинах і деяких дизельних паливах, що отримуються термічним і каталітичним крекінгами та іншими деструктивними методами. Палива для ПРД прямої перегонки насичених вуглеводнів практично не містять.

Утворення смолистих речовин і осадів у паливах визначається також вмістом гетероорганічних сполук. Під час зберігання в підземних резервуарах процеси смолоутворення протікають менш інтенсивно, ніж під час зберігання в наземних.

Швидке утворення смол у наземних резервуарах пояснюється їх нагріванням сонцем і теплом навколишнього повітря, а також більш інтенсивним диханням резервуарів. Зі збільшенням кількості повітря, що поступає до поверхні нафтопродуктів, осмолення зростає. Смолоутворення прискорюється і у разі розширення поверхні зіткнення палива з повітрям і від об'єму газової фази. Тому від повноти заповнення резервуарів залежить швидкість смолоутворення.

Несприятливо впливає на якість палив зберігання на водяній подушці. За наявності води смолоутворення палив сильно зростає. Якщо палива наливають у резервуари, неочищені від залишків смолистих речовин, то останні значно прискорюють процеси окиснення й утворення нової кількості

смол. Підвищення температури значно прискорює процеси смолоутворення. Швидкість утворення смолистих речовин за інших рівних умов залежить від складу алканів, цикланів, ароматичних вуглеводнів, а також гетероорганічних сполук, що входять до складу палив.

Найменша кількість осадів утворюється під час окиснення алкано-цикланових вуглеводнів. Парафіни і нафтени утворюють розчинні в паливах сполуки – смоли, спирти, кислоти. Біциклічні ароматичні вуглеводні під час окиснення утворюють нерозчинні осаді і смоли – смолисто-асфальтенові речовини.

Вміст сірчистих і азотистих сполук під час зберігання залишається незмінним. На відміну від цього кисневі сполуки не тільки переходять у паливо з нафти під час переробки, а й утворюються в них під час зберігання. Це пероксиди, спирти, карбонільні й карбоксильні сполуки, оксикислоти, ефіри, що при подальшому окисненні перетворюються в більш складні продукти і смоли. У найбільшій кількості в паливах містяться спирти і складні ефіри, як найбільш стабільні сполуки. Пероксиди мають велику схильність до структурних перетворень, швидко руйнуються. Карбонільні сполуки, схильні до реакцій ущільнення й подальшого окиснення в кислоти, взаємодіючи зі спиртами, утворюють складні ефіри.

Кислоти окиснюються, утворюючи оксикислоти. Фракції сірчистих нафт містять у 20–30 разів менше кислот і загалом кисневих сполук порівняно з фракціями несірчистих нафт. Кількість кислот збільшується з підвищенням температури кипіння фракцій.

Якщо смоли, що утворилися під час зберігання, періодично видаляти з палива, то окиснення малостабільних компонентів палива продовжується зі значною швидкістю. Це пов'язано з тим, що за первинного знесмолювання палива вилучаються також речовини, що є інгібіторами. Аналогічне явище спостерігається в разі зберігання гідроочищених палив (Т-6, РТ). Тому для підвищення стабільності гідроочищених палив для ПРД до них додають інгібітор іонол у кількості 0,003 % за об'ємом.

Смолисті речовини погіршують термоокиснювальну стабільність палив. Якщо їх у складі палива понад певну кількість, то це значно погіршує якість палива й знижує надійність роботи двигунів. Відкладаються смоли у впускних трубопроводах і на клапанах. Це призводить до зменшення потужності та економічності двигунів, а іноді, й до їх аварійної зупинки. Зі збільшенням кількості смолистих речовин підвищується рівень нагароутворення в камерах згорання двигунів, особливо з безпосереднім впорскуванням.

Нагар, відкладаючись на стінках камер згорання, порушує аеродинаміку потоку та погіршує ефективність згорання палива, викликає місцевий перегрів, викривлення й розтріскування жарових труб. При відкладенні нагару на форсунках змінюється форма розпилення струменя, знижується ефективність горіння палива. Частки нагару, що відриваються від форсунок і стінок камер, попадають із газами до турбіни та викликають

ерозію її лопаток, що призводить до децентровки турбіни і може викликати аварійну ситуацію.

Утворення смолистих речовин і осадів під час зберігання – результат окиснення нафтопродуктів. Запобігти цьому процесу можна зберіганням дегазованих нафтопродуктів в інертному середовищі, наприклад, в азоті. Однак, таке зберігання нафтопродуктів не практикується. Оскільки зберігають нафтопродукти в теперішній час у середовищі повітря, то утворення смол і осадів можна скоротити зменшенням відношення парової й рідкої фаз, площі контакту нафтопродукту з повітрям, кількості перекачувань. Процеси утворення осадів протікають менш інтенсивно під час зберігання в умовах знижених температур (наприклад, у заглиблених резервуарах), у відсутності вологи і механічних домішок. Найкращі умови для збереження якості нафтопродуктів створюються в разі зберігання в підземних, повністю заповнених резервуарах, на дні яких відсутня вода й забруднення.

Загальмувати утворення смол і осадів можна застосуванням добавок і підбором оптимального хімічного складу нафтопродуктів. Останні не повинні містити ненасичених вуглеводнів, гетероорганічних домішок. Антиокиснювальні добавки додають до складу палива в невеликих кількостях: від тисячних до десятих часток відсотка.

### **Протизношувальні властивості**

У паливній системі роль мастильного матеріалу виконує саме паливо. Тому від його протизношувальних властивостей залежить спрацювання пар тертя паливно-регулюючої апаратури, особливо плунжерних насосів високого тиску. Різні палива, а також одна і та сама марка палива, отримана з різних родовищ нафти, буде мати різні протизношувальні властивості.

Протизношувальні властивості – це характеристики палива зменшувати силу тертя і зношування деталей пари тертя, що працюють у середовищі палива, порівняно з їх роботою в повітряному середовищі або середовищі еталонного палива за заданих умов – температури, навантаження, швидкості переміщення.

Працездатність вузла тертя характеризується інтенсивністю спрацювання деталей, що труться, і силами тертя, що виникають при роботі. Інтенсивність спрацювання визначає ресурс роботи вузла тертя й агрегату загалом, а від сил тертя залежать витрати потужності на подолання цих сил і діючих напружень у деталях механізму приводу агрегату. Названі параметри роботи вузла тертя можуть змінюватися в широких межах залежно від того, який вид тертя переважає під час його роботи та який при цьому вид спрацювання є основним (провідним).

У загальному випадку розрізняють три види тертя: рідинне, граничне і сухе. За рідинного тертя деталі, що труться, розділені досить товстим шаром змащувальної рідини, і тертя відбувається не між твердими поверхнями, а між шарами рідини, що розділяють ці поверхні. Тому за рідинного тертя ресурс роботи деталей, що труться, максимальний, а втрати потужності на

подолання сил тертя мінімальні. Однак, численні причини не дозволяють створити у вузлах рідинне тертя. Конкретні умови роботи у низці випадків виявляються такими, що воно то виникає, то порушується, або взагалі не створюється. Порушення рідинного тертя не призводить безпосередньо до сухого тертя. Між цими видами перебуває граничне тертя.

У разі останнього захисні функції виконують тонкі плівки на поверхні металів, що являють собою або продукти хімічної взаємодії металів із компонентами змащувальної речовини, або шари молекул, утворені через фізичну адсорбцію ПАР на поверхнях металів, що володіють вільною енергією. В'язкість рідкого змащувального матеріалу при граничному терті не є властивістю, що визначає ефективність дії. У цьому випадку все залежить від наявності у відповідному середовищі природних або штучно доданих речовин, що додаються у вигляді додатків, здатних вступати у фізичну взаємодію з металами (адсорбуватися) або взаємодіяти з ними хімічно з утворенням на поверхнях нових сполук, що являють собою оксиди, сульфідів металів або інші сполуки більш складного характеру. Досить ефективними добавками до рідких змащувальних середовищ за граничного тертя, є такі речовини, як органічні (нафтонові) кислоти. Комплекс фізико-хімічних властивостей рідких змащувальних середовищ, сприяючих зниженню сил тертя й інтенсивності спрацювання при граничному терті прийнято називати протизношувальними, або змащувальними, властивостями.

При правильному підборі матеріалів для вузла тертя, оптимальному режимі роботи механізму й застосуванні мастила з необхідним рівнем змащувальних властивостей забезпечуються досить великі ресурси роботи вузлів, що труться, і за граничного тертя.

Сухе тертя виникає за повної відсутності мастила, тобто проходить метал по металу, що характеризується великим зношуванням і силою тертя.

Серед чинників, що визначають режим роботи вузла тертя, головними є навантаження на пару тертя, швидкість взаємного переміщення деталей і температура змащувального середовища.

Для оцінки впливу змащувального середовища на тертя й спрацювання деталей використовують низку критеріїв – спрацювання деталей вузла тертя в стандартних умовах випробування на лабораторних машинах тертя, критичне навантаження, граничні значення швидкості ковзання і температури, значення зношення кульок (діаметр зношення) за стандартних умов випробування (тривалість, осьове навантаження на вузол тертя, швидкість ковзання).

### **Прокачуваність**

При транспортуванні реактивних палив і заправці літаків в наземних умовах при низьких температурах будь-яких ускладнень не виникає. В'язкість палив для реактивних двигунів дещо зростає при зниженні температури, однак порушеннями в перекачуванні палив це не супроводжується.

При фільтруванні палив як на землі, так і в польоті можливі порушення в прокачуваності через випадання кристалів льоду і вуглеводнів, а також надмірного забруднення палив механічними домішками. При польотах на великих висотах, особливо з використанням палив широкого фракційного складу, можливе утворення парових пробок у системі живлення літака.

### **Корозійна активність і сумісність з неметалічними матеріалами**

У паливних системах повітряно-реактивних двигунів застосовують сплави, що містять мідь, сурму, нікель, кадмій і ін. Крім того, в паливній системі широко використовують різні гумові технічні вироби, герметики і т. д. Контакт палива з такими матеріалами може відображатися як на якості самого палива, так і на стані і властивостях матеріалів.

Корозія металів і сплавів пов'язана в першу чергу з вмістом в паливі сірчистих і деяких кисневих з'єднань. На сплави міді сильно впливає вільна сірка. Меркаптанова сірка викликає корозію бронзових і кадмірованих деталей паливної апаратури. При підвищенні температури корозійна активність сірчистих сполук різко зростає. Вплив сполук сірки на метали супроводжується утворенням значних корозійних відкладень, які, потрапляючи в паливо, забивають прохідні перетини паливних регуляторів, форсунок і інших деталей.

Загальний вміст сірки в паливі впливає на корозію направляючого апарату, лопаток та інших деталей випускного тракту двигуна. Велика частина деталей випускного тракту виготовлена з сплавів, що містять нікель. При високій температурі в результаті газової корозії може утворюватися сульфід нікелю, який з нікелем дає евтектичних сплав з температурою плавлення  $650^{\circ}\text{C}$ . Така евтектика плавиться і вигорає, викликаючи руйнування деталей.

Всі ці обставини диктують необхідність застосування гідроочищення для поліпшення експлуатаційних властивостей газових фракцій. Після гідроочищення підвищуються антикорозійні властивості і поліпшується термічна стабільність, але в той же час погіршуються захисні, протизносні та деякі інші властивості.

### **Захисні властивості**

Реактивні палива при польотах літаків піддаються впливу швидкоплинних температур, тисків і вологості повітря. Всі ці фактори впливають на розчинність води в паливі і обумовлюють випадання води у вигляді відстою в баках. При негативних температурах відстій не замерзає, так як в ньому містяться антиводокристалізаційні присадки. Таким чином, в паливній системі літака практично завжди є умови для протікання електрохімічної корозії, і захисні властивості реактивних палив мають важливе експлуатаційне значення.

Захисні властивості реактивних палив обумовлені вмістом полярних гетероатомних з'єднань, що містять сірку, кисень і азот. Однак в процесі гідроочищення ці сполуки з палив видаляються, і захисні властивості погіршуються. Поліпшення ж захисних властивостей гідроочищених палив можливо при змішуванні їх з паливом, що не пройшли гідроочищення. Додавання 30% такого неочищеного палива підвищує захисну здатність суміші

до необхідного рівня. Ефективним засобом поліпшення захисних властивостей всіх реактивних палив, в тому числі і отриманих гідроочищенням або гідруванням, є введення присадок. В якості захисних присадок досліджені аміни, жирні і нафтові кислоти, їх ефіри і солі, похідні бурштинового і малеїнового ангідридів, різні технічні суміші кислот, фенолів та ін.

Присадки на основі нафтових кислот і фенолів можуть покращувати не одне, а відразу кілька експлуатаційних властивостей палив, наприклад, захисні і протизносні, а феноли - ще і антиокислювальні.