

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

**Циклова комісія технічного обслуговування авіаційної техніки**

**ТЕКСТ ЛЕКЦІЙ**

з навчальної дисципліни  
«Технологія виробництва і переробки нафтопродуктів»  
вибіркових компонент  
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

**Технології робіт та технологічне обладнання аеропортів**

**за темою № 8 – Вимоги до сучасних двигуні та палив для двигунів**

**Харків 2022**

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

Науково-методичною радою  
 Харківського національного  
 університету внутрішніх справ  
 Протокол від 30.08.2022 № 8

**СХВАЛЕНО**

Методичною радою  
 Кременчуцького льотного коледжу  
 Харківського національного  
 університету внутрішніх справ  
 Протокол від 22.08.2022 № 1

**ПОГОДЖЕНО**

Секцією науково-методичної ради  
 Харківського національного  
 університету внутрішніх  
 справ з технічних дисциплін  
 Протокол від 29.08.2022 № 8

Розглянуто на засіданні циклової комісії технічного обслуговування авіаційної  
 техніки, протокол від 10.08.2022 № 1

**Розробник:**

1. 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, канд. техн. наук,  
 Павленко О. В.

2. викладач циклової комісії технічного обслуговування авіаційної  
 техніки Кременчуцького льотного коледжу Харківського національного  
 університету внутрішніх справ, спеціаліст вищої категорії, канд. хім. наук,  
 Козловська Т. Ф.

## План лекції

1. Вимоги до бензинів та бензинових двигунів.
2. Вимоги до дизельних палив та дизельних двигунів.
3. Вимоги до палив для авіаційних газотурбінних двигунів.

### Рекомендована література:

#### Основна

1. Братичак М. М., Гунька В. М. Хімія нафти та газу : підручник. Львів : Львівська політехніка, 2020. 448 с.
2. Братичак М. М., Гринишин О. Б. Технологія нафти та газу : навч. посіб. Львів : Львівська політехніка. 2013. 180 с.
3. Суярко В. Г. Прогнозування, пошук та розвідка родовищ вуглеводнів: підручник. Харків: Фоліо, 2015. 296 с.
4. Властивості нафти та нафтопродуктів. Ч.1 : навч. посіб. / О.В. Давітая та ін. Кременчук, 2019. 74 с.
5. Сіренко Г. О., Кириченко В. І., Сулима І. В. Фізико-хімія паливно-мастильних матеріалів : монографічний підручник. Івано-Франківськ, 2017. 508 с.
6. Білецький В. С., Орловський В. М., Вітрик В. Г. Основи нафтогазової інженерії : підручник. Полтава, 2018. 415 с.

#### Додаткова

7. Паливо-мастильні матеріали, технічні рідини та системи їх забезпечення : 1 книга / В. Я. Чабаний та ін. Кіровоград, 2008. 353 с.
8. Паливо-мастильні матеріали, технічні рідини та системи їх забезпечення : 2 книга / В. Я. Чабаний та ін. Кіровоград, 2008. 500 с.
9. Зеркалов Д. В. Довідник споживача нафтопродуктів : посібник. Київ : Науковий світ , 2000. 196 с.

#### Інформаційні ресурси в Інтернеті

10. Офіційний сайт Державної Авіаційної Служби України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://avia.gov.ua/>
11. Офіційний сайт аеропорту «Бориспіль »[Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://kbp.aero/>
12. Офіційний сайт Верховної Ради України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0594-19/>

## Текст лекції

### **1. Вимоги до бензинів та бензинових двигунів.**

Авіаційні і автомобільні поршневі двигуни внутрішнього згоряння з примусовим запалюванням від іскри процюють по чотиритактному циклу. У першому такті (всмоктування) паливо-повітряна робоча суміш заповнює циліндр двигуна і нагрівається до кінця такту в двигунах, що працюють на бензині, до 80-130 °C і до 140-205 °C - в працюючих на гасі.

У другому такті (стиск) тиск суміші зростає до 10- 12 ат. а температура - до 150-350°C. В кінці ходу стиснення з деяким випередженням суміш запалюється від електричної іскри. Хоча час згоряння палива дуже малий - тисячні частки секунди, але воно все ж згорає поступово, у міру просування фронту полум'я по камері згоряння (фронтом полум'я називається тонкий шар газу, в якому протікає реакція горіння). При нормальному згорянні фронт полум'я поширюється зі швидкістю 20-30 м / сек. Температура згоряння досягає 2200- 2800 ° С, а тиск газів порівняно плавно зростає до 30- 50 ат в автомобільних двигунах і до 80 ат в авіаційних.

У третьому такті (робочий хід) реалізується енергія стислих газів, і під час четвертого такту циліндр двигуна звільняється від продуктів згоряння.

У поршневих авіаційних і автомобільних двигунах в якості палива застосовуються бензини. Найважливіша експлуатаційна вимога до них - забезпечення нормального без детонаційного згоряння в двигунах, для яких вони призначенні.

*Детонацією* називається особливий ненормальний характер згоряння палива в двигуні, при цьому тільки частина робочої суміші після займання від іскри згорає нормально зі звичайною швидкістю. Остання порція паливного заряду (до 15-20%), яка знаходитьться перед фронтом полум'я, миттєво самозаймається, в результаті швидкість поширення полум'я зростає до 1500-2500 м / сек, а тиск зростає не плавно, а різкими скачками. Цей різкий перепад тиску створює ударну детонаціонну хвилю. Удар такої хвилі об стінки циліндра і її багаторазове відображення від них приводить до вібрації і викликає характерних металевий стукіт, який є головною ознакою детонаційного згоряння. Інші зовнішні признаки детонації: поява в вихлопних газах клубів чорного дима , а також різке підвищення температури стінок циліндра. Детонація – явище дуже шкідливе. На детонаційних режимах потужність двигуна падає, питома витрата палива зростає, робота двигуна стає жорстокою і нерівною. Крім того, детонація викликає прогоряння і викривлення поршнів і вихлопних клапанів, перегрів і вихід з ладу електричних свічок і інші неполадки . Знос двигуна прискорюється , а міжремонтні терміни коротшають . При довгій роботі на режимі інтенсивної детонації можливі і аварійні наслідки. Особливо небезпечна детонація в авіаційних двигунах.

Явище детонації з хімічної точки зору пояснюється перенасищеннем останньої частини паливного заряду первинними продуктами окислення

вуглеводнів - гідроперекисів і продуктами їх розпаду - високоактивними вільними радикалами, які при досягненні визначеної концентрації реагують зі швидкістю вибуху. В результаті вся незгоріла частина горючої суміші миттєво самозаймається. Очевидно, чим вище швидкість утворення перекисів в даній робочій суміші, тим скоріше виникає вибухове згоряння, тим раніше нормальнє розповсюдження фронту полум'я перейде в детонаційне і результати детонації позначаться сильніше. Звідси випливає, що основним фактором, від якого залежить виникнення і інтенсивність детонації, є хімічний склад палива, так як відомо, що схильність до окислення у вуглеводнів різної будови при порівнянних умовах різко різна.

Оцінка детонаційної стійкості (ДС) або антидетонаційні їх властивості вуглеводнів та палив проводиться на стаціонарних одноциліндрових двигунах. В основі всіх методів оцінки ДС лежить принцип порівняння випробуваного палива із сумішами еталонних палив. В якості останніх обрані 2,2,4-триметилпентан (ізооктан) і гептан, а за міру детонаційної стійкості прийнято октанове число.

*Октановим числом* називається умовна одиниця виміру детонаційної стійкості, чисельно рівна процентному (за об'ємом) змісту ізооктану (2,2,4-триметилпентан) в його суміші з гептаном, еквівалентної по детонаційної стійкості випробуваному паливу при стандартних умовах випробування.

Октанове число ізооктану прийнято рівним 100, а гептан - 0. Отже, якщо бензин який досліджують виявився еквівалентним в стандартних умовах еталонній суміші, що складається, наприклад з 70% ізооктану і 30% гептану, то його октанове число дорівнює 70. Отже октанове число - нормований показник детонаційної стійкості автомобільних бензинів, а також авіаційних бензинів при роботі на бідних сумішах і без застосування наддуву.

Для оцінки ДС авіаційних бензинів при роботі двигуна на багатих сумішах і з застосуванням наддуву нормованим показником служить сортність палива.

Сортність палива на багатій суміші - це характеристика, по показувала величину потужності двигуна (у відсотках) при роботі на випробуваному паливі в порівнянні з потужністю, отриманої на еталонному ізооктані, сортність якого приймається за 100.

Октанові числа визначаються ються на спеціальних випробувальних установах при стандартних умовах. Є декілька методів визначення октанових чисел, що відрізняються один від одного режимом випробування - по моторному і дослідницькому методу. Октанові числа за дослідницьким методом на кілька одиниць вище. Тому, коли наводяться дані по октановим числах, завжди треба отоварювати метод їх визначення.

Одним із шляхів підвищення детонаційної стійкості палив для двигунів з запаленням від іскри є застосування антидетонаторів. Це речовини, які додають до бензинів в кількості не більше 0,5% з метою значного поліпшення антидетонаціонних властивостей.

Досить ефективним, застосовуваним у всіх країнах, антидетонатором є тетраетилсвинець (ТЕС) РЬ ( $C_2H_5$ )<sub>4</sub>, який вже при 200-250 °C легко розпадається на свинець і ввільних радикали (етил), присутність яких в паливно повітряної середовищі уповільнює утворення перекисів в предпламенний період. Це призводить до зниження їх концентрації перед фронтом полум'я, і, отже, перехід нормального згоряння в детонаційне ускладнюється. У свою чергу, і атомарний свинець вже при більш високих температурах, тобто на більш пізній стадії процесу горіння, дезактивує різні частки, що утворюються при бурхливому розпаді перекисів. Це також призводить до ослаблення детонації.

У чистому вигляді ТЕС застосовувати не можна, так як на клапанах, свічках і стінках циліндра накопичуються свинець і окис свинцю, що звичайно порушує роботу двигуна. Для видалення свинцевого нагару до ТЕС добавляють так звані виноснimi свинцю - різні галогеналкіли. При термічному розкладанні останні виділяють галогенводень або галоген. Вони утворюють зі свинцем і окисом свинцю солі, які при високих температурах двигуна знаходяться в пароподібному стані

Ці солі разом з вихлопними газами завдяки своїй летючості виводяться з цілинду двигуна. Як виноснimi застосовуються діброметан, бромистий етил, а-монохлорнафталін, дібромпропан. Суміш ТЕС, виносника і барвника називається етиловою рідиною.

ТЕС, а отже, і етилова рідина дуже отруйні: при роботі з етильованими бензинами необхідно дотримуватися спеціальних правил обережності. Щоб легше відрізняти етиловий бензин, етилову рідину підфарбовують.

Додається етилова рідина до бензинів в кількості від 1,5 до 4 мл на 1 кг палива. Додавання етилової рідини понад 4 мл / кг вже не призводить до подальшого підвищення октанових чисел, але викликає посилене відкладення свинцоватого нагару.

Бензини різного хімічного складу по-різному відносяться до добавки ТЕС тобто мають, як кажуть, *різну приємість до ТЕС*. Приємість до ТЕС оцінюється числом одиниць, на яке збільшується октанове число даного палива або вуглеводню при додаванні певної кількості ТЕС при порівнянні з октановим числом цього палива в чистому вигляді, тобто без антидетонатора. Найбільша приємість до ТЕС у парафінових вуглеводнів нормальної будови, найменша - у неграничних і ароматичних вуглеводнів.

Вивчення детонаційної стійкості індивідуальних вуглеводнів дозволило встановити залежність цієї важливої властивості від хімічної будови вуглеводнів і мало велике значення для підбору і створення різних сортів палива для різних двигунів.

Нижче наведені октанові числа деяких індивідуальних вуглеводнів, визначені за моторним методом (без ТЕС).

Як видно з представлених даних, октанові числа деяких вуглеводнів можуть виявитися нижче 0 і вище 100. В першому випадку це означає, що їх ДС нижче, ніж у гептану, а у другому - вище, ніж у ізооктану.

При оцінці ДС товарних бензинів і компонентів, що мають октанові числа вище 100, в якості еталонних палив використовують суміші чистого ізоокта на з різною кількістю ТЕС .

Для окремих груп вуглеводнів, що входять до складу бензинів можна зробити наступні короткі висновки про їх ДС.

*Алкани нормального будови.* Починаючи з пентану вуглеводні цього ряду характеризуються дуже низькими октановими числами, причому чим вище їх молекулярна вага, тим октанові числа нижче. Існує майже лінійна залежність ДС від молекулярної ваги.

*Алкани розгалуженої будови (ізопарафінов).* Розгалуження молекул граничного ряду різко підвищує їх ДС. Так, наприклад, у октану октанове число -20, а у 2,2,4-триметилпентана 100. Найбільші октанові числа відзначаються для ізомерів з парними метильними групами у одного вуглецевого атома (неогексан, триптан, еталонний ізооктан), а також у інших триметильних ізомерів проктана.

Завдяки високим антидетонаційним властивостям ізопарафіни С<sub>5</sub>-С<sub>8</sub>-вельми бажані компоненти бензинів.

*Алкени (моноолефіни).* Поява подвійного зв'язку в молекулі вуглеводнів нормальній будови викликає значне підвищення ДС в порівнянні з відповідними насыщеними вуглеводнями.

*Циклани (наftenові вуглеводні).* Перші представники рядів циклопентану і циклогексану мають гарну ДС ; особливо це відноситься до циклопентану. Їх приємистість до ТЕС так само досить висока. Ці вуглеводні є цінними складовими бензину. Наявність бічних ланцюгів нормального будови в молекулах як циклопентанових, так і циклогексанових вуглеводнів, призводить до зниження їх октанового числа.

При цьому чим довше ланцюг, тим нижче октанові числа. Розгалуження бокових ланцюгів і збільшення їх кількості підвищує ДС цикланів.

*Ароматичні вуглеводні.* Майже всі найпростіші ароматитичні вуглеводні ряду бензолу мають октанові числа ~ 100 і вище. Ароматичні вуглеводні і ароматизовані бензини поряд з розгалуженими алканами - кращі компоненти високосортних бензинів. Однак вміст ароматичних углеводнів в бензинах слід обмежувати приблизно до 40-50%. Надмірно ароматизоване паливо підвищує загальну температуру згоряння, що тягне за собою збільшення теплонапруженості двигуна, а також може викликати так зване калільне займання - самовільне займання робочої суміші за рахунок розпечених частинок нагару. Це дуже шкідливе явище, яке може викликати аварійне пошкодження двигуна.

Отже, основним якісним показником карбюраторних палив є їх висока детонаційна стійкість. Кращі сорти автомобільних бензинів повинні мати октанові числа за дослідним методом 93-98 пунктів.

Крім високої ДС до карбюраторних палив пред'являють такі основні вимоги.

1. Фракційний склад палива повинен забезпечувати його добру випаровуваність, легкий запуск двигуна навіть при низьких температурах, швидкий прогрів двигуна і хорошу його присмістість до змін режиму. Тому найважливішим технічним показником бензинів і гасу є дані стандартної розгону, при якій відзначають: температуру початку кипіння; температури, при яких отгоняються 10, 50, 90 і 97,5 об'ємно % від завантаження; залишок (в %) і іноді кінець кипіння. 10% -ва точка визначає пускові властивості палива, 50% -ва точка шви роту прогріву двигуна, 90% - і 97,5% -ві точки і кінець кипіння характеризують повноту випаровування і рівномірний розподіл палива по циліндрах.

2. Паливо не повинно утворювати газових пробок в паливо утворюючій системі. Для забезпечення цієї вимоги в бензинах контролюється тиск насичених парів при  $38^{\circ}\text{C}$ , який не повинен перевищувати  $360 \text{ mm rt. st.}$  для авіаційних бензинів,  $500 \text{ mm rt. st.}$  для літніх сортів і  $700 \text{ mm rt. st.}$  для зимових сортів автомобільних бензинів.

3. Паливо повинно бути хімічно стабільним і не містити смол. Бензини термічного крекінгу і коксування містять ненасичені вуглеводні, схильні при зберіганні окислюватися і полімерізуватися. Цей процес отримав назву смокоутворення. Випадіння смол різко погіршує експлуатаційні властивості палив, сприяє відкладенню нагару в циліндрах двигуна і на клапанах. Для підвищення хімічної стабільності палив вторинного походження до них додаються антиокислювальні присадки (інгібтори). Застосування антиокиснювачів дозволяє значно загальмувати реакції окислення. Це має велике практичне значення, так як дозволяє підвищити терміни зберігання палив.

Як антиокислювачі запропоновано дуже багато різних органічних речовин, серед них феноли, поліфеноли, алкілфеноли, амінофеноли і ін. Механізм дії антиокислювачів в загальному вигляді полягає в тому, що молекули присадки обривають ланцюгові реакції окиснення.

Про хімічну стабільність палив судять або за змістом фактичних смол (в мг на 100 мл), або по тривалості індукційного періоду (в хв).

*Індукційним періодом* називається час (в хв), протягом якого бензин в умовах випробування в бомбі під тиском  $7 \text{ кгс / cm}^2$  кисню при  $100^{\circ}\text{C}$  практично не поглинає кисень. Про це судять по кривій тиску кисню в бомбі у час випробування. Після закінчення індукційного періоду швидкість окислення різко зростає, кисень починає витрачатися, а тиск в бомбі знижується. Нормами на автомобільні бензини тривалість індукційного періоду встановлена для різних сортів від 450 до 900 хв.

4. Паливо не повинно викликати корозії деталей двигуна. Це контролюють по наступним нормативним показникам якості: кислотність, загальний вміст сірки, вміст водорозчинних кислот і лугів (повинні бути відсутніми), присутність активних сірчистих сполук (випробування зі зміни кольору поверхні мідної пластинки ).

5 . Авіаційні палива не повинні застигати і виділяти кристали при температурі вище - 60 ° С.

## **2. Вимоги до дизельних палив та дизельних двигунів.**

У двигунах внутрішнього згоряння із запалюванням від стискання, званих дизелями, чотиритактний робочий процес протікає трохи інакше, ніж в двигунах із запаленням від іскри. У дизельному двигуні в перших двох тактах засмоктується і сжимається чисте повітря. Температура повітря в кінці ходу стиснення дорівнює 550-650°C, а тиск зростає до 40 atm. В кінці ходу стиснення в стисле і нагріте повітря впорскується впродовж визначеного часу під великим тиском порція палива. Найдрібніші крапельки палива переходят в пароподібний стан і розподіляються в повітрі. Через певний вельми незначний момент часу паливо самозаймається і повністю згорає. Час між початком вприскування і запалюванням палива називається *періодом затримки самозаймання*. В сучасних швидкохідних двигунах цей період не більше 0,002 сек. В результаті згоряння палива тиск газів досягає 60-100 atm. Вельми важливе значення для забезпечення плавної, нормальній роботи двигуна є швидкість наростання тиску газів. З практики відомо, що ця швидкість не повинна перевищувати 5 atm на 1° кута повороту колінчастого вала. В іншому випадку двигун починає стукати, робота його стає «жорсткою», а навантаження на підшипники надмірною. Поява стукотів і жорстка робота двигуна тісно пов'язані з тривалістю періоду затримки самозаймання . Чим триваліше цей період, тим більша кількість палива встигне вступити в циліндр двигуна. В результаті - одночасне запалення підвищеної кількості палива призводить до вибухового характеру згоряння, і тиск газів буде нарости стрибкоподібно. У наступних тахах: робочий хід і вихлоп - відбувається робоче розширення газів і звільнення циліндра двигуна від продуктів згоряння.

В якості палива для швидкохідних дизелей застосовуються гасово-газойлеві фракції нафти. Для тихохідних і стаціонарних двигунів цього типу з малим числом оборотів використовується більш важке паливо типу мазутів.

Найбільш істотне експлуатаційне властивість дизельних палив - їх здатність швидко запалюватися і плавно згоряти, що забезпечує нормальнє наростання тиску і м'якої роботи двигуна без стукотів. Запалювальні властивості палив залежать від їх хімічного і фракційного складу. Очевидно, що це, в першу чергу пов'язано з температурою самозаймання компонентів палива . Відомо, наприклад, що ароматичні вуглеводні мають дуже високі температури займання (500-60 °C). Зрозуміло, що сильноароматизовані продукти небажані в якості дизельного палива. Навпаки, парафінові вуглеводні мають найнижчі температури самозаймання, і дизельні палива з парафіністих нафт мають хороші експлуатаційні властивості.

Оцінка самозаймистості властивостей вуглеводнів та палив, так само як і детонаційної стійкості бензинів, проводиться методом порівняння на лабораторних випробувальних установках з еталонними паливами.

За аналогією з октановими числами для оцінки моторних властивостей дизельних палив прийняті *цетанові числа*.

*Цетановим числом* називається вміст (в об'ємно%) цетану в суміші з аметилнафталіном, еквівалентної по самозаймання випробуваному паливу, при порівнянні палив в стандартних умовах випробування. Цетанове число самого цетана (гексадекану)  $C_{16}H_{34}$  прийнято рівним 100, а а-метилнафталіну - 0. Визначення цетанових чисел проводиться на стандартній одноциліндровий установці з дизельною головкою за так званим методом збігу спалахів. Цетанові числа дизельних палив нормуються в інтервалі 40-50 од. Цетанове число характеризує не тільки спалахуючі властивості, воно відображає і деякі інші експлуатаційні властивості дизельного палива: чим вище цетанове число дизельного палива, тим краще його пускові властивості, тим менше тривалій період затримки самозаймання, більше повнота згоряння палива, менше задимленість вихлопних газів і схильність палива до відкладень нагару в камері згоряння і в форсунках.

Найнижчі цетанові числа характерні для ароматичних вуглеводнів, особливо біциклічних. Циклани і біциклани займають проміжне положення. Найбільшими цетановими числами мають алкани нормальnoї будови. Розгалуження молекул алканів приводить до значного зниження цетанових чисел. Введення подвійного зв'язку в молекулу вуглеводню також викликає зниження цетанового числа.

До інших важливих експлуатаційних властивостей дизельних палив для швидкохідних дизелі лей відносяться їх фракційний склад, в'язкість, температура застигання, коксівність, вміст сірки; кислотність, вміст води і механічних домішок. Всі ці показники підбираються в таких межах, щоб забезпечити нормальну безперебійну подачу палива в двигун, повноту згоряння, зменшення нагароутворення і відсутність корозії.

Особливо велике значення має температура застигання, що варіює від  $-10^{\circ}\text{C}$  для літніх сортів до  $-60^{\circ}\text{C}$  для арктичних сортів, і вміст сірки, який мав би не перевищувати 0,2% для всіх марок.

### **3. Вимоги до палив для авіаційних газотурбінних двигунів.**

Процес згоряння палива в турбокомпресорних повітряно реактивних двигунах (ТКВРД) відбувається в газо-повітряному потоці в камерах згоряння. Тривалість випаровування і горіння палива менше 0,01 сек. Повітря у великому надлишку (від 50: 1 до 75: 1) подається компресором, який працює від газової турбіни. Швидкість потоку повітря досягає  $40-60\text{ м} / \text{сек}$ . Частина повітря подається в зону горіння, а інша (більша) частина для охолодження продуктів згоряння приблизно до  $900^{\circ}\text{C}$  перед лопатками газової турбіни. Паливо впорскується в сжате повітря і підпалюється електричною іскрою.

В якості палив для реактивної авіації застосовують різні дистилляти прямої перегонки нафти або гідрокрекінгу: авіаційний гас з межами перегонки

120-250 °C, широка бензино-гасова фракція (60-280 °C) і для найбільш швидкісних літаків, що літають на великій висоті, - важкий гас (195-315 °C).

Розберемо коротко основні вимоги до цих палив і вплив їх хімічного складу на його якість.

Перш за все воно повинно безперешкодно прокачуватися по системі подачі палива як при низьких, так і при високих температурах.

Цілком очевидно, що будь-які неполадки в подачі палива вельми небезпечні. Для забезпечення цієї вимоги необхідно, щоб паливо не втрачало плинності при температурах до -50 °C і не виділяла кристалів вуглеводнів і льоду: навпаки, при високих температурах (100 °C і вище) воно не повинно інтенсивно випаровуватися, що може спричинити за собою утворення парових пробок. Паливо не повинно також виділяти смол і інших опадів, що можуть засмітити фільтри, клапани та іншу паливоподачу апаратуру.

З точки зору цих вимог в паливі неприпустимий вміст високомолекулярних парафінових вуглеводнів нормальної будови, що володіють високою температурою застигання, а також ненасичених вуглеводнів, схильних до утворення смол. Вміст води не повинно перевищувати 0,003%.

Для забезпечення наведених і деяких спеціальних вимог і підвищення якості реактивних палив до них додаються різні присадки: проти утворення кристалів льоду, антиокислювальні, біоцидні, антистатичні і ін.

Внаслідок гігроскопічності реактивних палив (і авіаційних бензинів), особливо що містять підвищену кількість ароматических вуглеводнів, в них накопичується волога. При низьких температурах в баках літаків в паливі утворюються кристали льоду, мають тонку веретеноподібну форму. Такі кристали утворюються також при різкому потеплінні повітря, коли містяться в ньому пари води стикаються з холодним паливом. Утворення кристалів льоду може викликати забивання паливних фільтрів і, отже, аварії. Для попередження випадання з палива льоду застосовуються присадки типу спиртів, гликолей і їх метилових і етилових ефірів.

Деякі мікроорганізми добре розвиваються в середовищі рідкого нафтового палива. В даний час відомі вже сотні видів таких грибків і бактерій. Їх життєдіяльність заснована на засвоенні вуглеводнів. Ці мікроорганізми викликають разні неполадки при експлуатації реактивних літаків (забивка датчиків, фільтрів, руйнування захисних покрівель, корозія паливних баків ...). Це стало серйозною небезпекою. Однією з ефективних заходів захисту від мікроорганізмів є застосування біоцидних присадок, які паралізують активність мікроорганізмів. Як присадок цього типу застосовують хімічні сполуки, що мають антисептичні, бактерицидні властивості, наприклад феноли, амінофеноли, борні ефіри, гликольборати і різні комбіновані патентовані присадки. Окремо треба відзначити значення додавання до реактивних і інших нафтових палив антистатичних присадок. Внаслідок досить низької електропровідності нафтових палив накопичення в них зарядів статичної електрики дуже небезпечно. З цієї причини неодноразово відбувалися

вибухи і пожежі. Заряди значною сили виникають при перекачуванні і тому подібних процесів . Єдиним захистом в цих випадках має бути збільшення провідності палива, щоб електричні заряди переходили на заземлені металеві частини резервуарів або апаратури. Якщо електричний опір палива вдається знизити , то практично можна повністю уникнути накопичення електричних зарядів.

Основними вимогами до реактивних палив відносяться до його енергетичним характеристик: теплоті згоряння, повноті згоряння, а також до густини . Чим більше теплота згоряння, тим більше виділяється енергії з одиниці маси або обсягу, швидкість виділення газів з сопла буде більше, а отже, швидкість польоту і величина тяги збільшуються. Що стосується густини, то ясно, що чим вона вище, тим більша кількість палива можна завантажити одноразово в обмежені обсяги баків літака, а отже, збільшити дальність польоту. Теплоту згоряння  $Q$  можна розраховувати на одиницю маси і на одиницю об'єму. Її величина залежить від вмісту водню і від співвідношення вуглець: водень в вуглеводневої молекулі.

При розрахунку теплоти згорання на одиницю маси найбільші значення  $Q$  у алканів, близькі до них величини у цикланів і найнижчі у ароматичних вуглеводнів. Якщо ж вести розрахунок на одиницю об'єму, то виходить зворотня залежність. У ароматичних вуглеводнів теплота згоряння виявляється найбільшою. Це є наслідком їх відносно більш високої густини.

У стандартах на реактивне паливо теплота згоряння  $Q_n$  нормується не нижче 42916 дж / кг (10250 ккал / кг). Що стосується повноти згоряння, то досліди показали, що ароматизоване паливо в цьому відношенні є найгіршим. Таким чином, ми бачимо, що, хоча ароматичні вуглеводні володіють найвищими густиною і теплотою згоряння, розрахованими на одиницю об'єму, однак в цілому за енергетичними показниками вони являють найменш бажаним компонентом в реактивному паливі.

З точки зору самого процесу згоряння, ароматичні вуглеводні, що володіють найбільшими температурами самозаймання, також погіршують якість реактивного палива.

Крім зазначеного, до реактивних палив пред'являються і інші серйозні вимоги. Вони повинні бути термічно стабільними (не утворювати опадів і смол при нагріванні), не давати нагару при згорянні і не викликати корозії. Наявність ненасичених вуглеводнів і гетероорганических з'єднань погіршує ці показники палива. Ароматичні вуглеводні, особливо бицикличні і без бічних ланцюгів, викликають значне нагароутворення.

Отже, за сумою всіх вимог до реактивним палив можна зробити висновок про його бажаний хімічний склад. Високоякісне паливо нафтового походження має представляти собою суміш розгалужених алканів з цикланами різної структури, але з насыченими бічними ланцюгами. Вміст ароматичних вуглеводнів має бути обмежена, а неуглеводневі компоненти повинні повністю бути відсутніми.