

**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 № 2 – Класифікація та принцип роботи теплових 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. Класифікація двигунів внутрішнього згорання.
2. Особливості робочого процесу поршневих двигунів.
3. Особливості робочого процесу повітряно-реактивних двигунів
4. Особливості робочого процесу дизельних двигунів.

## 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).

## Текст лекції

### 1. Класифікація двигунів внутрішнього згорання

Двигуни внутрішнього згорання можуть бути класифіковані за такими основними ознаками:

- родом вживаного палива: двигуни, що працюють на рідкому паливі, газові двигуни й газорідні двигуни;

- за паливом, яке використовується (бензинові, дизельні, газові, багатопаливні)
- способом сумішоутворення: двигуни із зовнішнім і внутрішнім сумішоутворенням;
- способом здійснення газообміну: чотиритактні й двотактні;
- способом запалення горючої суміші: двигуни із самозапалюванням від стиску й двигуни із примусовим запалюванням (від електричної іскри);
- способом наповнення робочого циліндра: двигуни з наддуванням і без наддування.

Крім того, класифікація двигунів можлива також за конструктивними ознаками:

- конструкції кривошипно-шатунного механізму: тронкові (більша частина двигунів із циліндровою потужністю до 600 к. с.) і крейцкопфні (переважно тихохідні двигуни великої потужності) двигуни;
- розташування й числа циліндрів;
- ступеня швидкохідності: тихохідні (із середньою швидкістю поршня 6,5-10 м/сек) і швидкохідні (із середньою швидкістю поршня 10-15 м/сек);
- напрямку обертання колінчастого вала: двигуни правого й лівого обертання, реверсивні (тобто, зі зміною напрямку обертання вала) і неревверсивні двигуни.

За призначенням двигуни діляться на:

- стаціонарні промислового призначення (для встановлення на електростанціях, заводах, насосних станціях і т.ін. );
- наземно - транспортні: тепловозні, автомобільні, тракторні, пересувні, дорожні, транспортно - навантажувальні й т.ін. ;
- суднові: головні двигуни (реверсивні й неревверсивні), що приводять до руху гвинт або електрогенератори, допоміжні (неревверсивні) двигуни, для приводу ряду допоміжних механізмів суднової машинної установки. Існують й інші ознаки, за якими можлива класифікація двигунів.

## **2. Особливості робочого процесу поршневих двигунів.**

Авіаційні і автомобільні поршневі двигуни внутрішнього згоряння з примусовим запалюванням від іскри працюють 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 С і до 140-205 С - в працюючих на гасі.

У другому такті (стиск) тиск суміші зростає до 10- 12 *ат.* а температура - до 150-350°С. 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 *at* в автомобільних двигунах і до 80 *at* в авіаційних.

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

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

*Детонацією* називається особливий ненормальний характер згорання 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 знаходиться 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 детонационную 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 згорання. 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 прогорання 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 перенасиченням 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 згорання, тим раніше нормальне розповсюдження фронту полум'я перейде в детонаційне і результати детонації позначатимуться 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 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 антидетонаційних властивостей.

Досить ефективним, застосовуваним у всіх країнах, антидетонатором є тетраетилсвинець (ТЕС) Р<sub>В</sub> (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>4</sub>, який вже при 200-250 °С легко розпадається на свинець і вільні радикали (етил), присутність яких в паливно повітряному 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 виносними 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 циліндру двигуна. Як виносними застосовуються діброметан, бромистий етил, а-моноклорнафталін, дібромпропан. Суміш ТЕС, виносника і барвника називається етиловою рідиною.

ТЕС, а отже, і етилова рідина дуже отруйні: при роботі з етильованими бензинами необхідно дотримуватися спеціальні правила обережності. Щоб легше відрізнити 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 свинцюватого нагару.

Бензини різного хімічного складу по-різному відносяться до добавки ТЕС тобто мають, як кажуть, *різну приємність до ТЕС*. Приємність 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 приємність 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  $C_5-C_8$ -вельми бажані компоненти бензинів.

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

*Циклани (нафтенові вуглеводні)*. Перші представники рядів циклопентану і циклогексану мають гарну ДС; особливо це відноситься до циклопентану. Їх приємність до ТЕС так само досить висока. Ці вуглеводні є цінними складовими бензину. Наявність бічних ланцюгів нормальної 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 ароматичні вуглеводні ряду бензолу мають октанові числа  $\sim 100$  і вище. Ароматичні вуглеводні і ароматизовані бензини поряд з розгалуженими алканами - кращі компоненти високосортних бензинів. Однак вміст ароматичних вуглеводнів в бензинах слід обмежувати приблизно до 40.50%. Надмірно ароматизоване паливо підвищує загальну температуру згоряння, що тягне за собою збільшення тепло напруженості 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 приємність 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 мм рт. ст. для авіаційних бензиновий, 500 мм рт. ст. для літніх сортів і 700 мм рт. ст. 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 смолоутворення. 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 (інгібітори). 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  $7 \text{ кгс} / \text{см}^2$  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 знижуватися. 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 -  $60^\circ\text{C}$ .

### 3. Особливості робочого процесу повітряно-реактивних 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 м / 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 сжатє повітря і підпалюється електричною іскрою.

В якості палив для реактивної авіації застосовують різні дистиляти прямої перегонки нафти або гідрокрекінгу: авіаційний гас з межами перегонки  $120\text{--}250^\circ\text{C}$ , широка бензино-гасова фракція ( $60\text{--}280^\circ\text{C}$ ) і для найбільш швидкісних літаків, що літають на великій висоті , - важкий гас ( $195\text{--}315^\circ\text{C}$ ).

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  $-50^{\circ}\text{C}$  і не виділяла кристалів вуглеводнів і льоду: навпаки, при високих температурах ( $100^{\circ}\text{C}$  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, гліколей 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 засвоєнні вуглеводнів. Ці мікроорганізми викликають різні неполадки при експлуатації реактивних літаків (забивка датчиків, фільтрів, руйнування захисних покриттів, 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, глікольборати 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 подібні 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 енергетичних характеристик: теплоті згорання, повноті згорання, а також до густини. Чим більше теплота згорання, 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 згорання  $Q$  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  $Q_v$  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 згорання виявляється найбільшою. Це є наслідком їх відносно більш високої густини.

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

З точки зору самого процесу згорання, 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 згоранні і не викликати корозії. Наявність ненасичених вуглеводнів і гетероорганічних з'єднань погіршує ці показники палива. Ароматичні вуглеводні, особливо бициклическі 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 насиченими бічними ланцюгами. Вміст ароматичних вуглеводнів має бути обмежена, а неуглеводневі компоненти повинні повністю бути відсутніми.

#### **4. Особливості робочого процесу 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  $550-650^{\circ}\text{C}$ , а тиск зростає до  $40\text{ ат}$ . В кінці ходу стиснення в стисле і нагріте повітря впорскується впродовж визначено часу під великим тиском порція палива. Найдрібніші крапельки палива переходять в пароподібний стан і розподіляються в повітрі. Через певний вельми незначний момент часу паливо самозаймається і повністю згорає. Час між початком вприскування і запалювання палива називається *періодом затримки самозаймання*. В сучасних швидкохідних двигунах цей період не більше  $0,002\text{ сек}$ . В результаті згоряння палива тиск газів досягає  $60-100\text{ ат}$ . Вельми важливе значення для забезпечення плавної, нормальної роботи двигуна є швидкість наростання тиску газів. З практики відомо, що ця швидкість не повинна перевищувати  $5\text{ ат}$  на  $1^{\circ}$  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 наростати стрибкоподібно. У наступних тактах: робочий хід і вихлоп - відбувається робоче розширення газів і звільнення циліндра двигуна від продуктів згоряння.

В якості палива для швидкохідних дизелів 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 нормальне 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 ( $500-60^{\circ}\text{C}$ ). 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%) цетана в суміші з а-метилнафталіном, еквівалентної по самозайманню випробуваному паливу, при

порівнянні палив в стандартних умовах випробування. Цетанове число самого цетана (гексадекану)  $C_{16}H_{34}$  прийнято рівним 100, а  $\alpha$ -метилнафталіну - 0. Визначення цетанових чисел проводиться на стандартній одноциліндровій 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 тривалий 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 бициклических. Циклани і біциклани займають проміжне положення. Найбільшими цетановими числами мають алкани нормального 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 дизелів 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  $-10^{\circ}C$  для літніх сортів до  $-60^{\circ}C$  для арктичних сортів, і вміст сірки, який мав би не перевищувати 0,2% для всіх марок.