

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

**Циклова комісія технічного обслуговування авіаційного техніки**

**ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ**

навчальної дисципліни «Хімія, пально-мастильні матеріали і авіаційне  
матеріалознавство»  
вибіркових компонент освітньо-професійної програми  
першого (бакалаврського) рівня  
бакалавр

**Аеронавігація**

**за темою № 15 – Паливо для авіаційних поршневих 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  
ХНУВС з технічних дисциплін  
Протокол від 29.08.2022 № 8

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

**Розробники:**

1. Викладач циклової комісії технічного обслуговування авіаційного транспорту, спеціаліст вищої категорії, к.х.н., доцент Козловська Т. Ф.;
2. Викладач циклової комісії технічного обслуговування авіаційного транспорту, спеціаліст вищої категорії, викладач-методист Реута А. В.

**Рецензенти:**

1. канд. хім. наук, доцент, завідувач кафедри екології та біотехнологій Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, професор Новохатько О. В.
2. канд. техн. наук, доцент, викладач циклової комісії природничих дисциплін Кременчуцького льотного коледжу Харківського національного університету внутрішніх справ, викладач-методист, спеціаліст вищої категорії Долударєва Я. С.

### План лекції

1. Палива для поршневих двигунів.
2. Особливості процесу згорання в ПД.
3. Оцінка детонаційної стійкості бензинів. Детонаційні характеристики вуглеводнів. Октанове число.
4. Високооктанові компоненти і антидетонатори.
5. Марки авіаційних бензинів.

### Рекомендована література:

#### Основна

1. Романова Н. В. Загальна та неорганічна хімія : практикум. Київ : Либідь, 2003. 205 с.
2. Кириченко В. І. Загальна хімія : навч. посібник Київ : Вища школа, 2005. 635 с.
3. Басов В. П., Радіонов В. М. Хімія : навч. посібн. 4-те вид. Київ : Каравела, 2004. 302 с.
4. Бочеров А. Д., Жикол О. А., Красовська М. В. Хімія : Довідник з прикладами розв'язання задач. Харків, 2011. 416 с.
5. Григор'єва В. В., Самійленко В. М., Сич А. М., Голуб О. А. Загальна хімія : підручник для студентів нехімічних спеціальностей вищих навчальних закладів. Київ : Вища школа, 2009. 471 с.
6. Степаненко О. М., Рейтер Л. Г., Ледовських В. М., Іванов С. В. Загальна та неорганічна хімія. Част. 1. Київ : Педагогічна преса, 2002. 418 с.
7. Степаненко О. М., Рейтер Л. Г., Ледовських В. М., Іванов С. В. Загальна та неорганічна хімія. Част. 2. Київ : Педагогічна преса, 2000. 783 с.
8. Бойченко С. В., Черняк Л. М., Новікова В. Ф. Контроль якості паливно-мастильних матеріалів. Київ : НАУ, 2012. 308 с.
9. Бойченко С. В., Іванов С. В., Бурлака В. Г. Моторні палива і масла для сучасної техніки : монографія. Київ: НАУ, 2005. 216 с.
10. Бойченко С. В., Спіркін В. Г. Вступ до хімотології палив та олив : навч. посібник. Одеса: Астропринт, 2009. Част. 1. 236 с.
11. Бойченко С. В., Любінін Й. А., Спіркін В. Г. Вступ до хімотології палив та олив : навч. посібник. Одеса: Астропринт, 2009. Част. 2. 276 с.
12. Полянський С. К., Коваленко В. М. Експлуатаційні матеріали для автомобілів і будівельно-дорожніх машин : підручник . Київ : Либідь, 2005. 504с.
13. Животовська К. О, Мамлюк О. В. Авіаційні матеріали та їх обробка : навч. посібник. Київ : Вища освіта, 2003.
14. Гарнець В. М. Матеріалознавство : підручник. Київ : Кондор, 2009.
15. Попович В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство : навч. посібник. Львів, 2002. 264 с.
16. Більченко О. В., Дудка О. І., Лобода П. І. Матеріалознавство : навч. посібник. Київ : Кондор, 2009.

### Допоміжна

17. Карпинець А. П. Лекції з курсу «Використання експлуатаційних матеріалів та економія паливно-енергетичних ресурсів» : навч. посібник. Горлівка, 2014. 107 с.
18. Чабанний В. Я., Магопець С. О., Мажейка О. Й. Паливо-мастильні матеріали, технічні рідини та системи їх забезпечення : навч. посібник. Кіровоград: Центрально-Українське видавництво, 2008. ч.1. 353 с.
19. Чабанний В. Я., Магопець С. О., Осипов І. М. Паливо-мастильні матеріали, технічні рідини та системи їх забезпечення : навч. посібник. Кіровоград: Центрально-Українське видавництво, 2008. ч.2. 500 с.
20. Сизова З.О. Конспект лекцій з дисципліни «Хімотологія» : навч. посібник. Харків, 2013. 83 с.
21. ГСТУ 320.00149943.007-97. Паливо для реактивних двигунів «РТ». [Чинний від 1997-06-15]. Держнафтогазпром України, 1997. 19 с. (Галузовий стандарт України).
22. ГСТУ 320.00149943.011-99. Паливо ТС-1 для реактивних двигунів. [Чинний від 1999-07-01]. Держнафтогазпром України, 1999. 27 с. (Галузовий стандарт України).
23. 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).
24. ДСТУ 7687:2015. Бензини автомобільні євро. Технічні умови. [Чинний від 2016-01 -01]. Київ : УкрНДНЦ, 2015. 15 с. (Національний стандарт України).
25. ДСТУ 7688 : 2015. Паливо дизельне євро. Технічні умови. [Чинний від 2016-01 -01]. Київ : УкрНДНЦ, 2015. 15 с. (Національний стандарт України).
26. Хільчевський В. В., Кондратюк С. Є, Степаненко В. О., Лопатько К. Г. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів : навч. посібник. Київ : «Либідь», 2002. 328 с.

## Текст лекції

### 1. Палива для поршневих двигунів.

Бензини призначені для поршневих авіаційних та автомобільних двигунів з примусовим спалахом. Незважаючи на різницю умов їх використання, авіаційні та автомобільні бензини характеризуються загальними показниками якості, які визначають їх експлуатаційні властивості, що різняться між собою чисельними значеннями, зазвичай більш низькими для автомобільних бензинів, ніж для авіаційних бензинів. Тому експлуатаційні властивості бензинів розглядаються разом, без розділення їх за призначенням, але в окремих випадках увага акцентується на специфіці умови використання бензинів.

*Хімічний склад палив для поршневих двигунів.*

Потужність двигуна, його моторесурс, надійність роботи, витрати палива і моторної оливи, токсичність відпрацьованих газів залежать від якості палива.

Автомобільний бензин – це суміш вуглеводнів з температурою кипіння за новим ДСТУ 4368-2001 від 30 до 215°C. Товарний бензин складається з суміші бензинових фракцій, здобутих різними способами перероблення нафти (атмосферної перегонки та крекінгів). Крім того в них додають високооктанові компоненти, альтернативне паливо, газовий бензин (для поліпшення пускових фракцій), а також присадки й інгібітори окислення (для збільшення терміну зберігання), присадки, що мають мийні, антиобмерзальні та інші властивості.

Автомобільні бензини являють собою суміш бензинових фракцій різних технологічних процесів переробки нафти – прямої перегонки, термічного крекінгу, каталітичного крекінгу, каталітичного реформінгу, гідрокрекінгу – базових бензинів, а також продуктів ізомеризації, алкілування, ароматизації з додаванням індивідуальних високооктанових вуглеводневих компонентів і присадок, що поліпшують окремі експлуатаційні властивості. Базові бензини прямої перегонки нафти добувають з обмеженого асортименту нафт.

Груповий вуглеводневий склад і детонаційна стійкість бензинів прямої перегонки характеризуються такими даними, як масова частка вуглеводнів, %:

- нафтових – 55–60;
- парафінових – 36–41;
- ароматичних до – 4;
- октанове число (ММ) без антидетонатора – 70–74.

Базові бензини термічних процесів поглибленої переробки нафти держують розщепленням високомолекулярних вуглеводнів за підвищеної температури з утворенням вуглеводнів з меншою молекулярною, вони містять велику кількість ненасичених вуглеводнів, тому вони мають більш високі ОЧ, ніж базові бензини прямої перегонки.

## 2. Особливості процесу згорання в ПД.

Бензини повинні насамперед відповідати конструкціям двигунів і мати фізико-хімічні властивості, які забезпечували б:

- безперебійну подачу в систему живлення;
- утворення паливо-повітряної суміші потрібного складу;
- нормальне та повне згорання її у двигунах (без виникнення детонації);
- зменшення корозії, а також корозійного зношування деталей двигунів;
- зменшення відкладень у впускному трубопроводі, камери згорання і інших деталях двигунів;
- збереження якостей при зберіганні, перекачуваннях і транспортуванні.

Кожна з перелічених вимог визначається одним або кількома показниками, значення яких для різних марок бензинів нормовано Держстандартом.

Щоб у достатній мірі відповідати усім цим вимогам, карбюраторні палива повинні володіти великою випаровуваністю та мати необхідний фракційний склад, від якого залежить якісне сумішоутворення і протидетонаційна стійкість, яка забезпечує нормальне згорання палива.

Від досконалості протікання процесу згорання палива залежать основні техніко-економічні показники роботи двигуна.

Головними факторами, які впливають на процес згорання палива, є хімічний склад самого палива, склад робочої суміші, тиск, температура, момент початку і кінця згорання робочої суміші. Згорання робочої суміші може бути нормальним і детонаційним.

*Нормальне згорання.* У двигунах з примусовим запалюванням робоча суміш, яка стиснута в циліндрі до 1,0...1,5 МПа і нагріта до 350...380 °С займається від електричної іскри свічки запалювання і згорає в процесі поширення фронту полум'я по всій камері згорання.

*Детонаційне згорання.* Під час роботи двигуна внаслідок підвищення температурного режиму роботи, невідповідності октанового числа бензину вимогам двигуна, а також якості бензину стандартам може виникнути детонаційне (вибухове) згорання робочої суміші. При детонаційному згоранні швидкість розповсюдження фронту полум'я досягає 1000...2300 м/с, а температура в циліндрах двигуна підвищується до 2500...3500 °С.

Особливістю детонаційного згорання палива є поява ударних хвиль, які, багаторазово відбиваючись від стінок камери згорання, викликають вібрацію і характерні металеві стуки. Зовнішніми ознаками детонації може бути також димний випуск відпрацьованих газів, оскільки при вибуховому розвитку процесу частина палива не встигає цілком згоріти. За рахунок ударної дії

гарячих газів на стінки камери згоряння збільшується коефіцієнт теплопередачі, приводить до перегріву двигуна. Невиробничі додаткові втрати тепла в систему охолодження і неповнота згоряння палива викликають зниження потужності двигуна.

При детонаційному згорянні, відбувається різке, збільшення теплових і механічних навантажень, коксування поршневих кілець і клапанів, посилений знос і вихід з ладу деталей циліндро-поршневої групи і вкладишів підшипників колінчастого валу. Зовнішні ознаки детонаційного згоряння виявляються вже при вибуховому згорянні 5% суміші. Якщо детонує 10...12% робочої суміші, то детонаційне згоряння вважають середньої інтенсивності. Коли ж в процесі бере участь 18...20% суміші, говорять про сильну детонацію, що може передаватися на інші циліндри і привести в аварійний стан.

Процес детонаційного згоряння найбільш повно пояснюється висунутою радянськими вченими теорією органічних перекисів (академіки А.Н. Бах, Н.Н. Семенов і ін.). Відповідно до цієї теорії, первинними продуктами окислювання вуглеводнів є перекисні з'єднання, які утворюються в результаті того, що молекула кисню при окисленні приєднується до вуглеводневого радикалу цілком і виникають перекисні з'єднання типу

$R - O - O - R$  (діалкілпероксидів),  $R - O - O - H$  (гідропероксидів) і ін.

У процесі нормального згоряння в робочій суміші також утворюються перекисні з'єднання але їх концентрація в незгорілій частині суміші так і не досягає критичної. Аналізуючи викладене, можна зробити висновок, що найбільші можливості для переходу нормального згоряння в детонаційне створюються при згорянні останніх частин робочої суміші. Чим більше незгорілої робочої суміші, яка залишилася та буде детонувати, тим інтенсивніше детонація і важче її наслідки.

Усі фактори (конструктивні і експлуатаційні), що сприяють підвищенню температури, росту тиску і збільшенню часу згоряння робочої суміші, впливають на можливість виникнення детонацій. Тому в залежності від сформованих умов те саме застосовуване паливо може згорати або нормально, або в детонаційному режимі. З огляду на відзначені вище фактори, можна успішно запобігати детонаційному згорянню і забезпечувати нормальну роботу двигуна.

При детонаційному згорянні двигун перегрівається, працює жорстко і нестійкістю, його потужність зменшується, а витрата бензину збільшується. При тривалій роботі двигуна з детонацією прогорають поршні, клапани, поршневі кільця, пошкоджуються підшипники та інші деталі кривошипно-шатунного механізму.

### **3. Оцінка детонаційної стійкості бензинів. Детонаційні характеристики вуглеводнів.Октанове число.**

До конструктивних факторів, що впливають на характер згоряння палива в карбюраторних двигунах, відносять: ступінь стиску, форму камери згоряння, розташування і кількість свіч запалювання, розміри гільз циліндрів, матеріал поршнів, голівок блоку і гільз циліндрів і деякі інші.

Одним з діючих засобів підвищення економічності двигунів, зниження їх питомої ваги, а також збільшення літрової потужності є підвищення ступеня стиску  $\epsilon$ . Так, за даними професора І. М. Леніна, збільшення ступеня стиску з 6,7 до 8,5 дозволило підвищити ефективну потужність двигуна з 155 до 190 к. с., а питому витрату палива зменшити з 240 до 225 г/л. к. ч. Однак це можливо тільки в деяких межах, що обмежуються техніко- економічними розуміннями (збільшення вартості двигуна, підвищення вимоги до палива, посилення небезпеки samozapalювання палива й ін.).

Застосування наддування також служить одним з ефективних способів підвищення потужності та економічності двигуна, однак через різке зростання тиску і температури робочої суміші, як і при підвищенні ступеня стиску, потрібно паливо з більш високою детонаційною стійкістю.

Зменшенню ймовірності детонаційного згоряння сприяє зниження температури робочої суміші в результаті поліпшення охолодження, що обумовлюється рядом конструктивних факторів (наприклад, удосконаленням форми камери згоряння, виготовленням головки блоку і деталей циліндро-поршневої групи з металів великої теплопровідності і т.д.).

На характер згоряння робочої суміші впливають і інші конструктивні фактори (наприклад, діаметр поршня, місце розташування свічки запалювання і т.п.). Зокрема, збільшення діаметра циліндра подовжує шлях проходження фронту полум'я, у результаті чого зростає час згоряння робочої суміші, а в незгорілій її частині різко (за рахунок стискання) підвищується тиск. Це і сприяє виникненню детонаційного згоряння. Оцінюючи в загальному вплив конструктивних факторів на процес згоряння палива, можна зробити висновок, що двигун буде тим досконаліше, чим менш він вимогливий при однім і тім же ступені стиску до детонаційної стійкості бензину.

Серед експлуатаційних факторів, що впливають на процес згоряння робочої суміші, варто виділити кут випередження запалювання, частоту обертання колінчастого вала двигуна, коефіцієнт надлишку повітря, тепловий режим і навантаження двигуна, утворення нагару на поверхнях камери згоряння й ін.

Найвигідніший, строго визначений кут випередження запалювання робочої суміші встановлюють для одержання максимальної потужності двигуна. Однак за умовами згоряння випередження запалювання не завжди виявляється



сприятливим. Це пояснюється тим, що із збільшенням цього кута запалення робочої суміші відбувається при більш низьких значеннях тиску і температури, що погіршує умови процесу горіння суміші. Крім того, до кінця згоряння температура і тиск робочої суміші значно зростають, що сприяє утворенню і нагромадженню в суміші перекисних з'єднань, що викликають детонацію. Щоб попередити детонацію, потрібно зменшити кут випередження запалювання, але тоді потужність двигуна трохи знизиться. Застосовуючи ж бензини з більш високою детонаційною стійкістю, можна встановити режим з оптимальним значенням кута випередження запалювання і силових показників двигуна. У цьому випадку зменшення кута випередження запалювання для ліквідації детонації доцільно тільки як тимчасова міра.

Частота обертання колінчастого вала двигуна також впливає на процес згоряння. З її збільшенням швидше поширюється фронт полум'я і разом з тим скорочується час, що відводиться на згоряння палива. Виходить, збільшення частоти обертання колінчастого вала являє собою фактор, сприятливий запобіганню детонацій.

Коефіцієнт надлишку повітря характеризує склад суміші, від якого в істотній мірі залежить швидкість згоряння, палива.

Найбільш небезпечні у відношенні детонації умови створюються при коефіцієнті  $\alpha = 0,9 \dots 1,1$ , якому відповідає максимальна швидкість протікання передполумєневих процесів окислювання в робочій суміші. Вихід за межі цих значень  $\alpha$  зменшує ймовірність появи детонації. При збідненні пальної суміші зростає витрата тепла на підігрів зайвого повітря, а отже, знижується температура суміші. При збагаченні суміші зменшується концентрація кисню, а відповідно і інтенсивність утворення перекисів, які сприяють детонації.

Покращення охолодження деталей двигуна і особливо інтенсивне відведення тепла від стінок камери згоряння з метою зниження температури робочої суміші при згорянні є важливими факторами попередження детонаційного згоряння. Збільшення вологості повітря, яке подається в двигун, також буде знижувати температуру робочої суміші за рахунок того, що випаровування крапель води віднімає від суміші частину тепла. Крім того, сама водяна пара є складовою частиною робочої суміші, діє як інертні гази, запобігаючи утворенню перекисів.

Зменшення ступеня відкриття дросельної заслінки також скорочує можливості виникнення детонації, оскільки в цьому випадку різко збільшується відносна кількість залишкових газів у складі робочої суміші, що знижують концентрацію кисню в суміші, перешкоджаючи утворення в ній перекисів.

Нагаровідкладення на поверхнях камери згоряння сильно погіршують відвід тепла від робочої суміші і разом з тим як би мимовільно збільшують степінь стиску. Доказово, що теплопровідність нагару приблизно в 50 разів менше, ніж теплопровідність чавуна або сталі. Внаслідок погіршення

теплопровідності покритих нагаром стінок камери згоряння температура робочої суміші підвищується і створюються умови для утворення і нагромадження перекисів, що сприяють детонації. Окрім того, і сам нагар, маючи високу температуру, може викликати передчасне samozapalювання палива, порушуючи нормальний режим роботи двигуна.

Тепловий стан двигуна погіршується і в результаті утворення в системі охолодження (особливо на поверхнях голівки циліндрів) накипі, що також має дуже низьку теплопровідність. Можна відзначити, що до деякої міри на процес згоряння впливає значення атмосферного тиску. З його зменшенням буде менше ваговий заряд робочої суміші. Отже, знижуються її тиск і температура, а разом з ними й інтенсивність утворення перекисів.

Отже, усі ті конструктивні та експлуатаційні фактори, що сприяють зниженню тиску і температури, а також скороченню часу згоряння робочої суміші, роблять умови для утворення і нагромадження перекисів, які є несприятливими, а отже, і зменшують можливості виникнення детонаційного згоряння.

Оцінці детонаційної стійкості бензину надають велике значення, тому що від її правильної визначеності залежать відповідність даного палива конкретному типу двигуна і основні техніко-економічні показники роботи двигуна.

Метод порівняння детонаційної стійкості бензину, що досліджується, із детонаційною стійкістю еталонного палива отримав найбільше розповсюдження. Еталонне паливо являє собою суміш з різним вмістом (за об'ємом) двох вуглеводнів – ізооктану ( $C_8H_{18}$ ) і нормального гептану ( $C_7H_{16}$ ). Ізооктан має високу детонаційну стійкість, яка умовно прийнята за 100, а нормальний гептан – дуже низьку, що прийнята за 0. Відповідно до цього визначення детонаційної стійкості бензину, що досліджується, полягає в тому, щоб підібрати таку суміш ізооктану і нормального гептану, яка б мала при однакових умовах таку ж саму детонаційну стійкість, що й паливо яке досліджується.

Властивість бензину протистояти детонації оцінюється октановим числом, мінімальне значення якого відображено у марці бензину. *Октанове число* (ОЧ) бензину дорівнює процентному (за об'ємом) вмісту ізооктану в такій суміші з нормальним гептаном, яка рівноцінна за антидетонаційними властивостями даному паливу при стандартних умовах випробування.

Розроблено і стандартизовано ряд методів визначення октанового числа бензину. Найчастіше використовують два методи (табл. 1): моторний (ГОСТ 511-85) і дослідний (ГОСТ 8226-85). Оцінка октанового числа одночасно двома методами дає можливість визначити чутливість бензину до зміни режиму роботи двигуна. Чутливість бензину оцінюють різницею октанових чисел, одержаних моторним і дослідним методами.

Октанове число бензину по моторному методу визначають на одноциліндровому двигуні (установці УИТ–65) (рис. 1.21) зі змінним ступенем стиску наступним образом. Установку заправляють бензином, октанове число якого необхідно визначити. Двигуну задають стандартний режим, а потім поступово підвищують ступінь стиску до появи детонації, яку фіксують за допомогою спеціального електронного приладу – детонометра. Потім у двигун заливають еталонне паливо, при чому підбирають таку суміш ізооктана і гептана, при роботі на якій інтенсивність детонації буде такою ж, як і на досліджуваному бензині. По кількості недотонізуючого ізооктана у суміші визначають октанове число.

У якості додаткової характеристики детонаційної стійкості авіаційних бензинів виступає сортність. *Сортність* – це характеристика, яка показує величину потужності двигуна ( $y\%$ ) під час роботи на досліджуваному паливі у порівнянні з потужністю, яка одержана на еталонному ізооктані, потужність якого прийнята за 100. Детонаційна здатність авіаційних та автомобільних бензинів визначається їх вуглеводневим складом та наявністю антидетонатора, що вводиться у малих концентраціях для покращення антидетонаційних властивостей бензини.

Таблиця 1 – Технічні умови визначення октанового числа бензину на установці УИТ–65

Показник	ОЧМ	ОЧД
Двигун	Одноциліндровий із змінним ступенем стиску	
Частота обертання вала, $\text{хв}^{-1}$	$900 \pm 10$	$600 \pm 10$
Температура, $^{\circ}\text{C}$ : в системі охолодження повітря пальної суміші масла в картері Кут випередження запалювання	$100 \pm 2$ $40 \dots 50$ $140 \pm 1$ $50 \dots 75$ Змінний: $26^{\circ}$ до ВМТ при $\epsilon = 5$ $19^{\circ}$ до ВМТ при $\epsilon = 7$	$100 \pm 2$ $52 \pm 2$ не підігрівається $50 \dots 75$ Постійний $13^{\circ}$ до ВМТ
Склад пальної суміші	Відповідає найбільшій детонації	

*Детонаційна стійкість вуглеводнів в паливі.*

Хімічний склад і молекулярна будова в сукупності визначають властивості палива. Вуглеводні, що входять до складу палива, володіють навіть у межах однієї групи різними властивостями, що багато в чому залежать від будівлі їх молекул. Це відноситься і до такої властивості, як детонаційна

стійкість вуглеводнів.

Парафінові вуглеводні нормальної будови дуже схильні до детонаційного згоряння, а ізомерної будови з розгалуженим ланцюгом виявляють високу детонаційну стійкість. В міру збільшення молекулярної маси нормальних і ізопарафінових вуглеводнів їх детонаційна стійкість послабляється. При однаковій розгалуженості цей показник вище у тих вуглеводнів, у яких бічні ланцюги розташовуються ближче до середини молекули і більш компактні.

Нафтові вуглеводні по детонаційній стійкості займають проміжне положення між нормальними парафіновими і ізопарафіновими вуглеводнями. Детонаційна стійкість нафтових вуглеводнів зростає із збільшенням розгалуженості приєднаної до вуглеводної цепі і знижується при продовженні бічних ланцюгів.

Ароматичні вуглеводні виявляють найбільш високу детонаційну стійкість. У них характер будівлі бічного ланцюга, приєднаної до ароматичного ядра, впливає на детонаційну стійкість аналогічним образом, але в трохи меншому ступені, чим у нафтових вуглеводнів.

Неграничним вуглеводням також властива досить висока детонаційна стійкість. Так, у цих вуглеводнів нормальної будови вона вище, ніж у відповідних парафінових вуглеводнів. Однак збільшення розгалуженості неграничних вуглеводнів у меншому ступені позначається на підвищенні їхньої детонаційної стійкості, чим це спостерігається для ізопарафінових вуглеводнів.

Отже, можна зробити висновок, що до складу високоякісних бензинів повинні входити ізопарафінові і ароматичні вуглеводні, яким властива найвища детонаційна стійкість.

#### **4. Високооктанові компоненти і антидетонатори.**

Антидетонатори. Основним фактором, що впливає на виникнення детонації, є ступінь стиску, від якого залежить температура і тиск в камері згоряння. Чим вище ступінь стиску, тим більша ймовірність виникнення детонації, вищі вимоги до детонаційності бензину. Враховуючи те, що з підвищенням ступеня стиску двигунів поліпшуються їх техніко-економічні і експлуатаційні показники та вимоги до детонаційної стійкості бензину весь час зростають.

Високі детонаційні стійкості товарних бензинів досягають трьома основними способами:

1. Застосуванням сучасних технологій одержання палив, наприклад каталітичного, термічного крекінгу, гідрокрекінгу та каналізаційного риформінгу тощо, що дають можливість одержати базові бензини з октановим числом ОЧМ – 75...80 і ОЧД – 80...94;

2. Підвищенням октанового числа, для чого додають до 40% високооктанових компонентів (ізооктану, алкілбензину та ін.), що мають ОЧМ близько 100 ;

3. Введенням антидетонаторів, тобто хімічних сполук, які при дуже незначній концентрації різко підвищують октанове число бензину. Цей спосіб підвищення детонаційної стійкості найпоширеніший і найбільш ефективний.

Найефективнішим антидетонатором є тетраетилсвинець (ТЕС) –  $Pb(C_2H_5)_4$ , який використовується декілька десятків років. Це важка масляниста безколірна або жовтувата отруйна рідина з високою густиною ( $P_{20}=16,52\text{кН/м}^2$ ), добре розчиняється в бензині і має температуру кипіння близько 200 °С. ТЕС не розчиняється у воді.

ТЕС вводять в паливо у вигляді етилової рідини (ЕР). В залежності від марки ЕР до її складу входять: 54...58% ТЕС, до 40% виносника свинцю, до 0,5% фарбувальної рідини та 5...6% наповнювача. Бензин із добавлянням ЕР називають етилованим.

Останніми роками проведено випробування і організовано промислове виробництво більш ефективного антидетонатора – тетраметилсвинцю (ТМС). Він має вищу температуру розщеплення і у високооктанових бензинах ефективніше ТЕС на 0,5...1,0 октанову одиницю. Температура кипіння ТМС – 110 °С, що сприяє більш рівному його розподілу між фракціями бензину.

Найбільш ефективнішим являється добавлення у бензин невеликих порцій антидетонатора (0,5...1,0 г на 1 л палива). При великих концентраціях підвищується отруйність бензину, знижується надійність роботи двигуна із-за утворення оксиду свинцю, який відкладається на стінках камери згоряння, днищі поршнів, клапанах і на електродах свічок, а при цьому ДС підвищується мало.

Механізм дії антидетонаторів ТЕС і ТМС пояснюється пероксидною теорією детонації і ланцюгових реакцій. При високих температурах згоряння (500...600 °С) вони повністю розкладаються на свинець і етильні радикали. Свинець, що утворюється, окислюється з утворенням диоксиду свинцю, який вступає в реакцію з пероксидами і руйнує їх. При цьому утворюються малоактивні продукти окислення вуглеводів і оксид свинцю. Оксид свинцю взаємодіє з киснем повітря і знову окислюється в диоксид свинцю, який здатний реагувати з новою молекулою пероксиду. Кожна зруйнована пероксидна молекула може бути початком самостійного ланцюга утворення нових пероксидів. Цим пояснюється висока ефективність використання малої кількості антидетонаторів, які вводять у бензин.

Суттєвим недоліком цих антидетонаторів є їх висока токсичність, вони негативно діють на центральну нервову систему, мають властивість накопичуватись в організмі, можуть потрапити до організму через шкіру, а також органи дихання. Тому при роботі з етилованими бензинами необхідно

дотримуватись суворих заходів безпеки і захисту.

При зберіганні етилованих бензинів їх детонаційна стійкість зменшується із-за розкладання антидетонаторів. Цей процес прискорюється при наявності у паливі води, осадків, смол, а також при зберіганні бензину з підвищеною температурою. Використання свинцевих антидетонаторів за останній час різко скорочується із-за їх високої токсичності і негативного впливу в навколишнє середовище, так як при роботі двигунів з етилованим бензином в атмосферу викидається велика кількість сполук свинцю у вигляді аерозолі.

На заміну свинцевих антидетонаторів було запропоновано марганцевий тип ЦТМ. За своїми антидетонаційними властивостями ЦТМ практично не поступається свинцевим і він нетоксичний. Проте широке промислове впровадження його затрудняється рядом причин. Основним недоліком ЦТМ є інтенсивне утворення оксиду марганцю на електродах свічок запалювання, яке призводить до замикання іскрового проміжку і таким чином до відказу роботи системи запалювання. Крім того, при сильному освітлюванні ЦТМ розкладається, утворюючи в паливі пластівці нерозчинного в бензині осаду.

Останніми роками зріс інтерес до використання деяких кисневмісних сполук як високооктанових компонентів автомобільних бензинів, метил-трет-бутиловий ефір (МТБЕ)  $C_5H_{12}O$ , а також вторинно – (ВБС) і трет-бутилові спирти (ТБС).

Вони нетоксичні, корозійно неактивні, добре змішуються з бензином та не руйнують пластмасові і резинові вироби. Октанове число МТБЕ складає 117, а ВБС – 110. Так, наприклад, при додаванні 7,0...10% МТБЕ до бензину суттєво підвищується його октанове число „головної” фракції, тобто покращує антидетонаційну характеристику легких фракцій бензину. Це дозволяє підвищити потужність двигуна при розгоні автомобіля, тобто підвищити приємність автомобіля. Крім того МТБЕ поліпшує склад продуктів згоряння бензину, а також має властивості проти обледеніння карбюратора в зимовий період.

## 5. Марки авіаційних бензинів.

Автомобільні бензини в Україні виробляються за ДСТУ 7687:2015 «Бензини автомобільні Євро. Технічні умови», ГСТУ 320.00149943.015-2000 «Бензини моторні сумішеві. Технічні умови».

Згідно з ДСТУ 7687:2015 виробляються бензини автомобільні підвищеної якості, що використовуються як паливо для автомобільних і мотоциклетних двигунів, а також двигунів іншого призначення. Залежно від ОЧ цей стандарт установлює такі марки бензинів:

А-92-Євро – з ОЧ за дослідним методом не менше, ніж 92; А-95-Євро – з ОЧ за дослідним методом не менше, ніж 95;

А-98-Євро – з ОЧ за дослідним методом не менше, ніж 98.

За вмістом сірки бензини поділяють на два види: І – вміст сірки не більше як 10 мг/кг; ІІ – вміст сірки не більше як 50 мг/кг.

Згідно з ДСТУ 320.00149943.015-2000 виробляються автомобільні бензини моторні сумішеві неетильовані, що виготовляються з базових компонентів і з високооктановою кисневмісною домішкою ВКД (біоетанол) і використовуються як паливо для карбюраторних автомобільних двигунів та мотоциклів (домішка ВКД виготовляється відповідно до ТУ У 30183376.001-2000). За цим галузевим стандартом вироблятимуться чотири марки автомобільних бензинів А-80Ек, А-92Ек, А-95Ек, А-98Ек. Гарантійний термін зберігання 3 місяці від дня їх виготовлення. Такий термін встановлено факультативно не більше, ніж на три роки для нагромадження статистичних даних і може коригуватися протягом цього часу залежно від отриманих результатів.

Традиційне виробництво авіаційної бензини обмежене двома марками: Б-95/130, Б-91/115, причому чисельник означає октанове число бензини за моторним методом, а знаменник – сортність за збагаченою сумішшю.

Авіаційні бензини випускають етильованими із вмістом тетраетилсвинцю (ТЕС) не більше 3,1 г/кг та 2,5 г/кг для бензинів Б-95/130 та Б-91/115 відповідно. Для безпеки в обігу, а також для маркування в етильовані бензини додають відповідні жиророзчинні барвники.

Авіаційні бензини – це суміш компонентів, які одержують різними технологічними процесами. На відміну від автомобільних бензинів до складу авіаційних бензинів входять продукти обмеженого числа процесів, при цьому навіть самий низькооктановий компонент має відносно високу детонаційну стійкість – октанове число за моторним методом без ТЕС у межах 70-74 одиниць.

Для одержання авіаційної бензини в якості базової використовують бензину каталітичного риформінгу. Використання в авіаційній техніці бензини Б-91/115, яку одержують на базі бензини каталітичного риформінгу, дозволило відмінити промивання всмоктувальної системи двигуна від смолистих відкладень. У якості високооктанових компонентів авіаційних бензинів використовують: алкілат (алкілбензина), вміст якої у бензині Б-95/130 досягає 70 %; у невеликому об'ємі технічний ізооктан та ароматичні вуглеводні, переважно толуол, а також піробензол та алкілбензол.

Авіаційний бензин Б-91/115 переважно одержують на базі бензину каталітичного риформінгу з додаванням 30-40 % алкілатів (або технічного ізооктану) та 8-15 % толуолу. В бензині Б-91/115, що одержують на основі прямогонної бензини нафтової основи, та яка має більш високі октанові числа та сортність, ніж у бензині риформінгу, вміст алкілату коливається у межах 12-21 %. Для приготування авіаційної бензини Б-91/115 на основі

бензини каталітичного крекінгу до базової бензини додають 15-20 % алкілату, 10–30 % легкого бензину прямої перегонки та не більше 6 % ароматичних вуглеводнів, переважно толуолу.

Авіаційна бензина Б-95/130 у порівнянні з бензиною Б-91/115 має більш високе значення сортності і, враховуючи обмеження за вмістом ароматичних вуглеводнів, під час компаундування до неї додають алкілат у кількості 30-70 %. Передбачається перейти на єдиний сорт авіаційної бензини типу Б-92 із зниженим (до 2 г/кг) вмістом ТЕС та без нормування сортності.