

ЛЕКЦІЯ 4. ДИЗЕЛЬНІ ПАЛИВА (1 частина)

План лекції:

1. Експлуатаційні вимоги
2. Сумішоутворення
3. Самозапалювання та цетанове число. Температура спалаху
4. Випаровуваність. Схильність до нагароутворення
5. Контрольні запитання

ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВИМОГИ

Головна перевага дизельних двигунів – їхня висока економічність. Вони витрачають на 25...30% менше палива, порівняно з бензиновими двигунами. Економічна робота дизелів досягається головним чином за рахунок високих ступенів стиснення. У швидкохідних дизелях вона досягає 18. Дизельне паливо дешевше за бензин, оскільки його отримують в основному прямою перегонкою.

Дизельні двигуни надійніші та довговічніші. Для них характерні стабільна економічність у всьому діапазоні навантажень, краща прийомистість і можливість роботи з навантаженням без повного прогріву. Основні відмінності в роботі дизельного та бензинового двигунів полягають у способах сумішоутворення та займання робочої суміші. Тому вимоги до дизельного палива зумовлюються особливостями роботи двигуна.

Дизельне паливо повинно мати хороше розпилення, сумішоутворення, випаровування і прокачування, швидке самозаймання; повністю згоряти, причому без димлення; не викликати підвищеного нагаро- та лакоутворення на клапанах та поршнях, закоксування розпилювача форсунки, зависання голки розпилювача, корозії резервуарів, баків, деталей двигуна тощо.

Головні експлуатаційні показники дизельного палива:

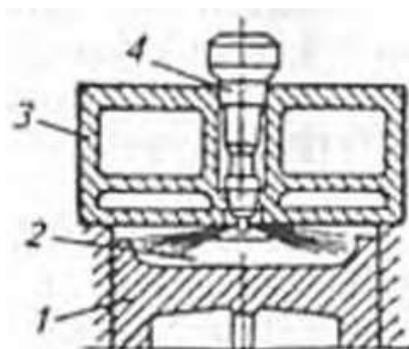
- цетанове число, що визначає потужність та економічні показники роботи двигуна;
- низькотемпературні властивості, що визначають роботу системи живлення за негативних температур навколишнього середовища;
- в'язкість та щільність, що забезпечують нормальну подачу палива, розпилення його в камері згоряння та працездатність паливних фільтрів;
- фракційний склад, що впливає на повноту згоряння, димність і токсичність відпрацьованих газів;
- ступінь чистоти, що визначає надійність роботи фільтрів грубої та тонкої очистки;
- температура спалаху, що характеризує умови безпеки застосування палива у двигунах;
- корозійні властивості, зумовлені наявністю сірчаних сполук, ненасичених вуглеводнів, водорозчинних кислот та лугів.

СУМІШОУТВОРЕННЯ

Процес сумішеутворення в дизельному двигуні представляє собою складний комплекс фізичних і хімічних явищ, що протікає від моменту впорскування палива в камеру згоряння до займання його порції.

Дизелі відносяться до двигунів із внутрішнім сумішоутворенням. Впорскування палива в циліндр відбувається через форсунку в кінці такту стиснення. У цьому швидкість струменя палива сягає 150...400 м/с. Тиск повітря в циліндрі становить понад 2,9 МПа за нормальної температури близько 600°C. Тертя повітря й струменя палива викликає руйнування його на крапельки діаметром 2...3 мкм. Розпилення палива та характер руху повітря в циліндрі залежать від конструкції камери згоряння.

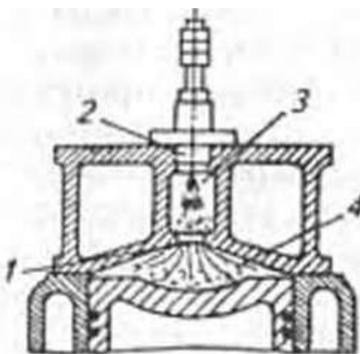
Камери згоряння дизельних двигунів бувають нерозділені та розділені. У нерозділених камер згоряння (рис. 1) весь простір стиснення є єдиним об'ємом, в який безпосередньо впорскується паливо. Оскільки процес сумішоутворення відбувається в єдиному обсязі, до якості розпилення висувають дуже високі вимоги.



1 - поршень; 2 - камера згоряння; 3 - головка циліндра; 4 - форсунка.

Рисунок 1 – Схема нерозділеної камери згоряння

Розділену камеру згоряння мають передкамерні дизелі. Така камера згоряння складається з основної камери 4 (рис. 2) і передкамери 3. У камері паливо згоряє частково через нестачу повітря. Остальна частина палива у зв'язку з різким підвищенням тиску при згорянні з великою швидкістю викидається через з'єднувальні канали в головну камеру. При цьому основна частина палива також розпорошується, перемішується з повітрям, яке знаходиться в головній камері, і догоряє.



1 - з'єднувальний канал; 2 - форсунка; 3 - передкамера;

4 - основна камера згоряння.

Рисунок 2 – Схема розділеної камери згоряння передкамерного дизеля

На якість сумішоутворення поряд з конструкцією камери згоряння впливають властивості палива: щільність, в'язкість, тиск насичених парів, поверхневий натяг, фракційний склад та ін.

Підвищення *щільності* палива позначається на процесі сумішоутворення так само, як і збільшення в'язкості: зростає довжина струменя, погіршується економічність двигуна та збільшується димність. При малій щільності палива зменшується довжина струменя, погіршується процес сумішоутворення. Тому щільність дизельного палива має бути оптимальною з урахуванням сезонності експлуатації та інших факторів та перебувати в межах 830...860 кг/м³.

В'язкість дизельного палива впливає на якість розпилення палива та сумішоутворення, прокачування, роботу паливного насоса, знос прецизійних пар насоса високого тиску, для якого паливо одночасно служить мастильним матеріалом, повноту згоряння та витрату палива, склад відпрацьованих газів. Через велику в'язкість можуть виникнути перебої в подачі палива до насоса внаслідок великого опору при протіканні його по паливній системі. Чим менше в'язкість, тим тонше розпилення палива, менше діаметр крапель, що утворюються, краще випаровуваність. Однак при цьому зменшується довжина струменя палива (оскільки дрібні крапельки мають малу кінетичну енергію), спостерігаються нерівномірність утворення горючої суміші, неповнота згоряння і перевитрата палива.

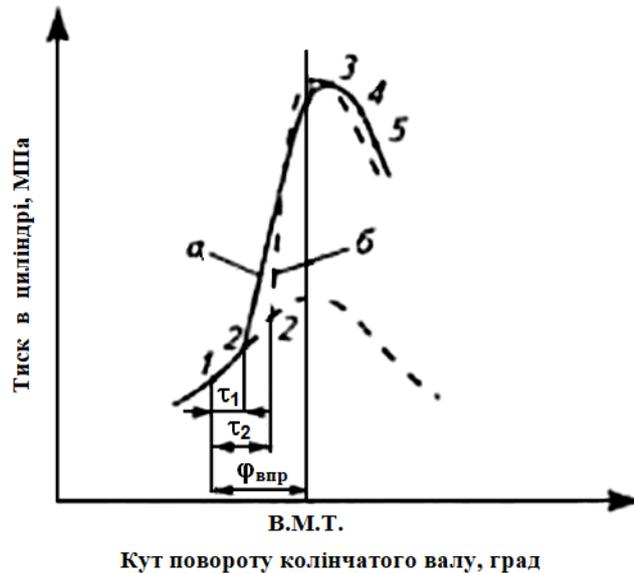
З підвищенням в'язкості збільшується довжина струменя. При цьому частина крапель потрапляє на стінки камери згоряння, внаслідок чого погіршується процес сумішоутворення, випаровування та повнота згоряння палива. Це веде до перевитрати палива, зниження потужності, підвищення димності відпрацьованих газів. Для літніх сортів палива в'язкість має бути 3...6 сСт, для зимових – 1,8...6 сСт.

САМОЗАПАЛЮВАННЯ ТА ЦЕТАНОВЕ ЧИСЛО. ТЕМПЕРАТУРА СПАЛЯХУ

Самозапалювання. Робочий процес дизеля відрізняється від процесу бензинового двигуна приготуванням та займанням горючої суміші. Запалення горючої суміші в дизельних двигунах відбувається без стороннього джерела запалювання. Суміш самозаймається під дією високої температури в результаті реакцій окислення, що бурхливо протікають в ній. На рисунку 3 показана індикаторна діаграма дизельного двигуна, тобто діаграма зміни тиску у середині циліндра в залежності від кута повороту колінчастого валу.

Подача палива форсункою в камеру згоряння починається в точці 1 за 10...20° кута повороту колінчастого валу до в.м.т. Закінчується впорскування палива у різних двигунів по-різному: як після в.м.т. так і до неї. **Кут між початком подачі палива та в.м.т. називають кутом випередження впорскування палива та позначають** $\varphi_{впр}$. Тривалість впорскування палива відповідає періоду від початку до кінця подачі палива.

Займання горючої суміші відбувається через деякий час після впорскування палива в камеру згоряння. Цей час називають **періодом затримки самозаймання**. Самозаймання парів палива (в точці 2) передує певний період, протягом якого відбувається ряд фізичних та хімічних процесів. Паливо розпорошується у гарячому повітрі, крапельки його підігриваються до високої температури та випаровуються.



a - при нормальній роботі; *б* - при жорсткій роботі; 1 – початок впорскування;
 2 - samozапалювання палива; 3 - кінець швидкого згоряння;
 4 - кінець сповільненого згоряння; 5 - кінець догоряння.

Рисунок 3 – Розгорнута індикаторна діаграма дизеля

Під дією високої температури та кисню відбуваються передполум'яні реакції багатостадійного окислення вуглеводнів, що входять до складу палива. У робочій суміші накопичуються кисневмісні сполуки, які потім починають розпадатися з виділенням частини теплоти (10... 15%) і кисню. Холоднополум'яне окислення призводить до підвищення температури суміші та появи багатьох вогнищ займання. У цей момент з'являється блакитне свічення, яке називається «холодним» полум'ям. В результаті підвищення температури суміші швидкість хімічних реакцій зростає, відбувається її займання, тобто поява гарячого полум'я.

У точці 2 починається згоряння палива. Більшість палива до цього моменту встигає випаруватися, і процес згоряння охоплює все нові порції горючої суміші. Паливо продовжує подаватися форсункою в камеру згоряння, воно інтенсивно поєднується з повітрям, випаровується і швидко згоряє. Внаслідок швидкого згоряння палива тиск у циліндрі значно збільшується. Період швидкого згоряння продовжується від точки 2 до точки 3. У цьому періоді виділяється основна кількість теплової енергії циклової подачі палива (до 70%), подача палива форсункою продовжується, тиск збільшується. Кінцем періоду умовно вважають точку 3, у якій досягається максимальний тиск. Наприкінці швидкого згоряння зростання тиску припиняється, швидкість згоряння знижується.

Після точки 3 починається період уповільненого згоряння, тиск зростає незначно. Подача палива припиняється, але процес згоряння продовжується і температура газів підвищується. Виділяється близько 20% теплової енергії палива. Зниження тиску наприкінці періоду (точка 4) пояснюється збільшенням об'єму камери згоряння та зв'язку з рухом поршня до н.м.т. Кінцем періоду уповільненого згоряння умовно прийнята точка 4, коли досягається максимальна температура газів камери згоряння. Потім відбувається догоряння залишків палива та продуктів неповного згоряння. **Чим важче паливо, вища його в'язкість і щільність, тим триваліший період догоряння.** Фаза догоряння може досягати 70° кута повороту колінчастого валу до в.м.т.

При великому періоді затримки самозаймання горючої суміші в циліндрі дизеля накопичується і згоряє більшість палива. Це викликає різке збільшення тиску на кожен градус повороту колінчастого валу, внаслідок чого спостерігається так звана жорстка робота двигуна. Зовнішні ознаки жорсткої роботи двигуна ідентичні до детонаційного згоряння бензину в бензинових двигунах. Якщо на 1° повороту колінчастого валу тиск у камері згоряння збільшується на 0,25...0,5 МПа, то двигун працює нормально, на 0,5...0,9 МПа – жорстко, а вище 0,9 МПа – дуже жорстко.

Жорстка робота двигуна показана рисунку 3 (крива б). У точці 2' відбувається самозаймання, після чого тиск зростає з великою швидкістю. При жорсткій роботі дизеля збільшується навантаження на деталі кривошипно-шатунного механізму, що викликає інтенсивне їх зношування.

Хімічний склад палива істотно впливає на період затримки самозаймання. Найнижчу температуру самозаймання мають парафінові вуглеводні. Чим вище їхня молекулярна маса, тим нижча температура самозаймання.

Цетанове число. Оцінкою самозаймання дизельних палив служить цетанове число, що визначається за ДСТУ на спеціальних установках. Установки мають одноциліндровий чотиритактний дизель зі змінним ступенем стиснення від 7 до 23. При проведенні випробувань кут випередження впорскування палива має бути 13° до в.м.т., тиск упорскування 10,4 МПа.

Як еталонне паливо обрано парафіновий вуглеводень цетан і ароматичний вуглеводень альфаметилнафталін. Цетан має дуже малий період затримки самозаймання, і його цетанове число умовно прийнято за 100. Альфаметилнафталін має великий період затримки самозаймання, і його цетанове число умовно прийнято за 0. Суміші цетану і альфаметилнафталіну в різних співвідношеннях мають різну самозаймистість.

Цетанове число дизельного палива визначають наступним чином. Запускають двигун на випробуваному паливі і, змінюючи ступінь стиснення, домагаються, щоб самозаймання палива почалося точно в в.м.т. Потім підбирають таку суміш цетану та альфаметилнафталіну, яка при тій же мірі стиснення також займається у в.м.т., тобто має такий же період затримки самозаймання, як і випробуване паливо.

Цетанове число – це відсотковий (об'ємний) вміст цетану в суміші з альфаметилнафталіном, який за самозаймистістю аналогічний до випробуваного палива. Наприклад, якщо випробуване дизельне паливо має цетанове число 47, то по самозаймистості воно еквівалентне штучної суміші еталонних палив, що містить 47% цетану і 53% альфаметилнафталіну.

Цетанове число дизельного палива залежить від його хімічного складу, схильності до окислення. Найбільш швидко окислюються та розпадаються парафінові вуглеводні нормальної будови. Вони мають найвищі цетанові числа. Ароматичні вуглеводні самозаймисті при більш високих температурах і за більший проміжок часу мають найнижчі цетанові числа.

Для збільшення цетанового числа дизельних палив можуть бути використані різні присадки, наприклад ізопропілнітрат або циклогексилнітрат. Проте виробництво цих присадок останнім часом припинено. Фахівцями фірми «Юнікол» розроблено нову ефективну присадку «Міакрон-2000», основу якої становить етилгексилнітрат. Масова частка присадки у дизельному паливі має бути 0,1...0,3%.

Присадки прискорюють початкові передполум'яні реакції і сприяють утворенню нових активних центрів реакції. **Чим нижче цетанове число, тим вища жорсткість роботи дизеля.** Від значення цетанового числа залежать інші показники роботи двигуна: його пуск, середній ефективний тиск згоряння, питома витрата палива, температура випускних газів, відкладення в двигуні, димність і запах відпрацьованих газів. Зі збільшенням цетанового числа палива полегшується пуск двигуна та збільшується середній тиск згоряння, інші показники знижуються, робота двигуна загалом покращується.

Для сучасних автотракторних дизельних двигунів використовують палива з цетановими числами не менше 45. При цетановому числі дизельного палива 40 і нижче дизелі працюють жорстко. Однак збільшення цетанових чисел палива понад 51 не викликає суттєвого покращення роботи дизеля, а питома витрата палива та димність зростають внаслідок зменшення повноти згоряння.

Цетанове число (ЦЧ) дизельного палива розраховують за різними формулам, основні з яких наступні:

при відомій щільності d_4^{20} та кінематичній в'язкості ν_{20}

$$\text{ЦЧ} = (\nu_{20} + 17,8) \cdot \frac{1,5879}{d_4^{20}};$$

при відомому вуглеводневому складі

$$\text{ЦЧ} = 0,85П + 0,1Н - 0,2А,$$

де $П$, $Н$, $А$ – вміст відповідно парафінових, нафтових та ароматичних вуглеводнів.

Температура спалаху. Цей параметр використовують для оцінки якості палива і для класифікації виробництва, приміщень та установок за ступенем пожежної небезпеки.

Температура спалаху – це мінімальна температура, при якій пари палива, що нагріваються в спеціальному апараті, утворюють горючу суміш, що спалахує при піднесенні до неї полум'я. Температура спалаху характеризує безпеку дизельного палива під час його транспортування, зберігання та заправці.

ВИПАРОВУВАНІСТЬ. СХИЛЬНІСТЬ ДО НАГАРОУТВОРЕННЯ

Випаровуваність. Для отримання якісної горючої суміші паливо має повністю випаруватись у камері згоряння. Від випаровуваності палива залежить повнота його згоряння, пуск та робота двигуна, нагаро- та лакоутворення, знос деталей двигуна та його економічність, склад відпрацьованих газів, витрата оливи. Випарюваність дизельного палива оцінюють за фракційним складом, температур перегонки 50 і 90% або 50 і 96% палива.

На пуск двигуна фракційний склад має більший вплив, ніж цетанове число. При пуску двигуна створюються найменш сприятливі умови для сумішоутворення та згоряння палива через недостатньо високу температуру в камері згоряння. **Чим більше в паливі легких фракцій, тим швидше і повніше вони випаровуються.** У легкого палива менше діаметр крапельок, що утворюються, і більше їх площа випа-

ровування. Пускові властивості дизельних палив характеризуються **температурою википання 50% фракції**. Чим нижче ця температура, тим легше запустити двигун, особливо за низьких температур навколишнього повітря. Однак полегшення фракційного складу призводить до збільшення періоду затримки самозаймання.

Палива важкого фракційного складу з високою температурою википання 96% фракції не встигають повністю випаруватися, а отже, і згоріти. Неповнота згорання призводить до перевитрати палива, збільшення димності відпрацьованих газів, зниження потужності, підвищеного лако- та нагароутворення. Частина палива в рідкому вигляді стікає по стінках циліндра в масляний картер, змиваючи мастильний матеріал та підвищуючи знос деталей двигуна. Економічність та довговічність двигуна погіршуються. Тому надмірне обтяження палива, як і його полегшення, є небажаними.

Схильність до нагароутворення. Одна з важливих експлуатаційних властивостей дизельного палива – здатність забезпечувати чистоту двигуна та паливної апаратури. Ця властивість залежить від хімічного та фракційного складу палива. При згоранні палива спостерігається нагароутворення на стінках камери згорання та впускних клапанах, а також на розпилювачах та голках розпилювачів форсунок. На стінках камери згорання, днищах поршнів та впускних клапанах утворюється щільний твердий нагар темного кольору, а на розпилювачах та голках розпилювачів форсунок – м'який, смолистий нагар жовтуватого кольору, іноді у вигляді світло-коричневої лакової плівки.

Відкладення нагару на стінках камери згорання погіршує відведення теплоти в систему охолодження двигуна. Наявність нагару на впускних клапанах призводить до закоксовування, в результаті чого порушується правильна посадка тарілки клапана на сідло. Відбуваються витік розпечених газів та обгорання посадкових поверхонь клапана та сідла, а в окремих випадках зависання клапана.

Найбільші порушення у роботі дизельних двигунів пов'язані з відкладеннями нагару на форсунках. Через нагари на розпилювачах погіршується якість розпилення палива та викривляється факел розпилу. При погіршенні розпилення палива порушується сумішоутворення, відбувається неповне його згорання, що призводить до димлення, зниження потужності дизеля та підвищеної витрати палива.

Випадання смолистих відкладень на голках розпилювачів сприяє їх зависанню. Закоксовуваність сопел і зависання голок розпилювачів супроводжуються підтіканням палива, оскільки в цьому випадку голка не сідає на ущільнений конус розпилювача і не перекриває його канал. При підтіканні палива також спостерігається зниження потужності та економічності дизеля, його димлення.

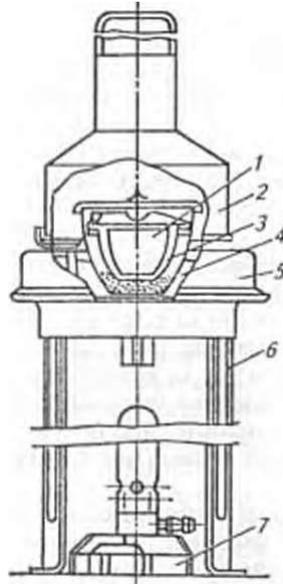
Нагароутворення в двигуні залежить від наступних параметрів дизельного палива: вмісту фактичних смол і сірки, фракційного складу, кількості ненасичених і ароматичних вуглеводнів, зольності і коксування. Зі збільшенням вмісту фактичних смол у паливі збільшується нагароутворення на деталях двигуна, закоксовування отворів розпилювачів і зависання голок. Підвищення вмісту сірки в паливі призводить до збільшення нагару і лаку, причому щільність нагару значно зростає.

Зі збільшенням зольності та коксуємості дизельного палива, зростає його схильність до нагароутворення. Зольність характеризує вміст у паливі негорючих домішок, які випадають у нагар, збільшуючи його абразивні властивості.

Коксування. Це властивість палива при нагріванні без доступу повітря утворювати осад (кокс). Коксування визначають для 10%-го залишку після попередньої

перегонки дизельного палива. Коксування 10%-го залишку палива залежить від його фракційного складу і вмісту смолисто-асфальтових сполук. Для дизельного палива різних марок коксування знаходиться в межах 0,2...0,3%.

Коксування дизельного палива визначають методом Конрадсона у спеціальному апараті з фарфоровим 1 (рис. 4), внутрішнім 3 і зовнішнім 4 тиглями. На триніжку 6 апарата встановлений муфель 5, який підігрівається газовим пальником 7. Тиглі та кришки апарату виконані з листової корозійностійкої та жаростійкої сталі.



1 - фарфоровий низький тигель; 2 - колпак;
3, 4 - внутрішній та зовнішній тигелі; 5 - муфель;
6 - триніжка; 7 - газовий пальник.

Рисунок 4 – Апарат Конрадсона для визначення коксування нафтопродуктів

На апараті для розгонки нафтопродуктів отримують 10% залишок дизельного палива. Потім навішування залишку заводять у порцеляновий тигель, який встановлюють у внутрішній тигель. Внутрішній тигель поміщають у зовнішній, на дні якого насипаний пісок. Обидва тиглі закривають кришками і ковпаком, який забезпечує рівномірний обігрів. Під дно зовнішнього тигля встановлюють газовий пальник. Полум'я якого має бути високим і некоптити. Коли з'явиться дим над верхнім циліндром ковпака, запалюють пари палива. Полум'я пальника значно зменшують. Період горіння вважають закінченим, якщо над ковпаком немає синього диму.

Після горіння збільшують полум'я газового пальника і нагрівають нижню частину зовнішнього тигля до червоного гартування. Прожарюють зовнішній тигель. Потім пальник видаляють, знімають ковпак і кришку зовнішнього тигля, виймають порцеляновий тигель і ставлять його в ексикатор. Після охолодження його зважують. Коксування x (%) 10%-го залишку дизельного палива визначають за формулою:

$$x = \frac{100m}{m_1},$$

де m , m_1 , – маса відповідно коксового та 10%-го залишків, г.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які експлуатаційні вимоги висувають до дизельного палива?
2. Які види сумішоутворення існують?
3. Від яких властивостей палива залежить хороше сумішоутворення?
4. Що таке самозапалення суміші?
5. Що таке цетанове число дизельного палива?
6. Розкажіть про вплив випаровування дизельного палива на роботу двигуна.
7. Що таке косування?