

## ЛЕКЦІЯ 5. ДИЗЕЛЬНІ ПАЛИВА (2 частина)

План лекції:

1. Корозійні властивості
2. Низькотемпературні властивості
3. Вода і механічні домішки
4. Токсичність відпрацьованих газів дизельних двигунів
5. Асортимент дизельних палив
6. Контрольні запитання

### КОРОЗІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ

Причина підвищеної корозії та зносу деталей двигуна – наявність у паливі сірчанних сполук, органічних кислот, водорозчинних кислот та лугів. Вміст органічних кислот у дизельному паливі характеризує кислотність палив, яка має бути не більше 5 мг КОН у 100 см<sup>3</sup> палива.

Підвищення кислотності палив призводить до збільшення корозійного зносу плунжерних пар паливного насоса високого тиску та зростання відкладень.

На корозійну агресивність дизельних палив суттєво впливають сірчані сполуки. Встановлено, що загальне зношування деталей двигуна приблизно прямо пропорційне вмісту сірки в дизельному паливі. При температурі охолоджувальної рідини в двигуні нижче 70°C зростає ступінь корозійного зносу, оскільки збільшується утворення сірчаної кислоти. Продукти згоряння палив, що містять сірчистий та сірчаний ангідриди, проникають через нещільності циліндропоршневої групи в картер, де утворюють з водою сірчану та сірчисту кислоти. Змішуючись з олією, кислоти погіршують її якість, зокрема антикорозійні властивості, викликають швидке старіння. Хімічному зносу піддаються вкладиші підшипників, шийки колінчастих валів та інші деталі. Особливо сильної корозії схильні вкладиші зі свинцевої бронзи.

В результаті дії сірчистих продуктів на оливу виходять смолисті сполуки, які потім утворюють нагар. За наявності сірчистих сполук збільшується нагаро- і лакоутворення в циліндропоршневій групі. Через вміст сірки нагар стає твердим, що призводить до абразивного зношування циліндропоршневої групи. Відкладення лаку в зоні поршневих кілець веде до їх закоксування та заклинювання. Сірчисті сполуки в паливі сприяють також збільшенню відкладень на масляних фільтрах тонкого та грубого очищення.

Змащувальна здатність дизельних палив визначає термін служби плунжерної пари насоса високого тиску. У глибокоочищених дизельних паливах з низьким вмістом сірки змащувальна здатність значно знижується. В цьому випадку потрібна добавка до палива протизносних присадок.

Корозійна агресивність дизельних палив залежить головним чином від вмісту меркаптанової сірки. Її масова частка у паливі допускається не більше 0,01%. Загальна масова частка сірки у товарних дизельних паливах становить 0,2...0,5%. Для покращення екології великих населених пунктів нашої країни передбачається знизити в паливах масової частки сірки (до 0,05...0,1%) та ароматичних вуглеводнів (до 10...20%). Перспективні показники якості дизельного палива за кордоном такі: у США – вміст сірки не більше ніж 0,003 %, ароматичних вуглеводнів не більше ніж 2 %; у Європі – відповідно не більше 0,005 та 3 %.

Водорозчинні кислоти та луки можуть залишитися в дизельному паливі після очищення сірчаною кислотою або лугом на нафтопереробному заводі. Водорозчинні кислоти викликають корозію всіх металів, а водорозчинні луки – алюмінію, тому наявність навіть слідів цих сполук у паливі неприпустима.

## НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНІ ВЛАСТИВОСТІ

Головні експлуатаційні характеристики дизельного палива – його низькотемпературні властивості та рухливість при негативних температурах визначають роботу системи живлення. Палива, з вмістом великої кількості парафінових вуглеводнів, мають погані низькотемпературні властивості внаслідок кристалізації цих вуглеводнів навіть при позитивних температурах. Кристали, що утворюються можуть засмічувати систему живлення двигуна, особливо паливні фільтри.

Низькотемпературні властивості характеризуються температурою помутніння, граничною температурою фільтрації та температурою застигання. *Температурою помутніння* називають температуру, при якій змінюється фазовий склад палива, оскільки разом з рідкою фазою з'являється тверда. При цьому паливо втрачає свою прозорість, мутніє через виділення мікроскопічних кристалів льоду (якщо в паливі є вода) і в основному твердих вуглеводнів. *Однак при помутнінні плинність палива не змінюється.* Розміри кристалів такі, що проходять через фільтри. При граничній температурі фільтрації розміри кристалів твердих вуглеводнів збільшуються і вони не проходять через фільтри, тобто плинність палива погіршується. При температурі застигання кристалічні грати настільки зміцнюються, що паливо втрачає плинність.

Температура помутніння та гранична температура фільтрації палива характеризують умови його застосування. Для більшості дизельних палив різниця температур помутніння і застигання становить 5...7°C. Якщо паливо не містить депресорних присадок, то гранична температура фільтрації дорівнює температурі помутніння або нижче за неї на 1...2°C. Температура повітря, при якій можлива експлуатація дизельного палива, повинна бути на 5...10°C вище температури помутніння для запобігання порушенням подачі палива в двигун.

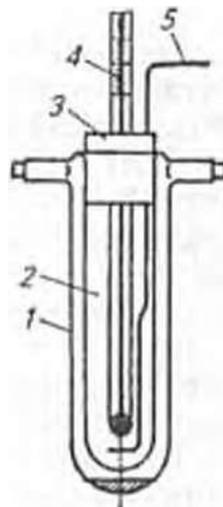
Низькотемпературні властивості можна поліпшити, вилучивши з палива частину парафінових вуглеводнів, тобто *депарафінізацією*. При цьому можна отримати паливо із заздалегідь заданою температурою застигання. Проте слід пам'ятати, що з депарафінізацією видаляються високоцетанові компоненти – парафінові вуглеводні, тобто знижується цетанове число дизельного палива. Палива з поганими низькотемпературними властивостями мають високі цетанові числа, а палива з хорошими низькотемпературними властивостями мають незадовільні цетанові числа. Для збереження цетанового числа на необхідному рівні проводять неглибоку депарафінізацію.

Для забезпечення необхідних температур помутніння та застигання зимові сорти палива отримують за рахунок полегшення фракційного складу. При виробництві зимових сортів дизельного палива використовують *депресорні присадки*. Додаючи ці присадки в сотих частках відсотка можна знизити граничну температуру застигання на 15...20 °C. У разі введення депресорних присадок температура помутніння палива не змінюється. Механізм дії депресорних присадок полягає в модифікації структури парафінів, що кристалізуються, зменшенні їх розмірів. Низькотемпературні властивості дизельних палив з депресорними присадками оцінюють за температурою помутніння та граничною температурою фільтрації, а палива без депресатора – за температурою помутніння та застигання.

Для зниження температури застигання дизельних палив в умовах експлуатації допускається як виняток додавати гас. З цією метою використовують низькозастигаючі сорти гасу (типу реактивного палива) у кількості до 25%. При сильному розведенні дизельного палива гасом знижується цетанове число, що призводить до жорсткої роботи двигуна і різко погіршуються мастильні властивості, у зв'язку з чим підвищується знос плунжерної пари. При температурі повітря від  $-20$  до  $-30^{\circ}\text{C}$  двигуни працюють на суміші, що складається з 90% дизельного палива і 10% гасу, а при температурі від  $-30$  до  $-35^{\circ}\text{C}$  вони працюють на суміші, що складається з 75% дизельного палива та 25% гасу. Звичайний освітлювальний гас непридатний для цієї мети, оскільки має погані низькотемпературні властивості. Температура помутніння освітлювального гасу становить  $-12\dots-15^{\circ}\text{C}$ .

Температури помутніння, початку кристалізації та кристалізації визначено в ДСТУ 7688:2015.

Прилад визначення температури застигання дизельного палива показаний на рисунку 1.



*1 - пробірка-муфта; 2 - пробірка; 3 - пробка; 4 - термометр; 5 - мішалка.*

Рисунок 1 – Прилад для визначення температури застигання дизельного палива

Досліджуване паливо заливають у пробірку 2 і поміщають у скляну пробірку-муфту 1. Зверху пробірку-муфту закривають пробкою 3, в яку вставлений термометр 4. Прилад ставлять у посудину з охолоджувальною сумішшю.

Застосовують такі охолоджувальні суміші:

– для отримання температур від  $0$  до  $-20^{\circ}\text{C}$  – у посудину засипають поперемінно шар кухонної солі та шар снігу або подрібненого до 3 см льоду. На одну частину солі беруть дві частини снігу або льоду;

– для отримання температур нижче  $-20^{\circ}\text{C}$  – у посудину з шаром ізоляції наливають етиловий спирт. Потім вводять у спирт дрібними порціями твердий діоксид вуглецю.

Перед визначенням випробуване дизельне паливо зневоднюють, для чого його збовтують протягом 10...15 хв. зі свіжопрокаленим і подрібненим сульфатом натрію або з зернистим хлористим кальцієм. Потім паливо відстоюють та фільтрують. Зневоднене дизельне паливо наливають у пробірку 2 і закривають все пробкою із встав-

леним термометром 4. Пробірку вставляють у пробірку-муфту 1, яку попередньо заливають 1 мл сірчаної кислоти для поглинання вологи з повітря і попередження появи на стінках пробірки-муфти води при охолодженні.

Зібраний прилад опускають в охолоджувальну суміш і встановлюють строго вертикально. Починаючи з температури, яка на  $9^{\circ}\text{C}$  вище за передбачувану температуру застигання дизельного палива, через кожні  $3^{\circ}\text{C}$  виймають пробірку з пробірки-муфти і слідкують за рухливістю дизельного палива при нахилі. У процесі досліду дизельне паливо перемішують мішалкою 5.

За температуру застигання випробуваного дизельного палива приймають температуру, при якій паливо в горизонтально розташованій пробірці залишається нерухомим протягом 5 с. Температура застигання визначає умови складського зберігання, тому що за цієї температури неможливо перекачати паливо з одного резервуара в інший.

## ВОДА ТА МЕХАНІЧНІ ДОМІШКИ

Наявність води та механічних домішок у дизельному паливі є однією з головних причин відмов паливної апаратури. Вода та механічні домішки можуть потрапляти в паливо, починаючи від шляху проходження його з нафтозаводу до використання в двигуні. Більшість механічних домішок мають велику твердість і викликають підвищене зношування деталей двигуна. Особливо шкідливими є домішки для паливних насосів високого тиску, насосів-форсунок, форсунок. У прецизійних парах зазор становить  $1,5\text{...}3$  мкм, тому навіть невелика кількість механічних домішок, розмір яких можна порівняти із зазором плунжерних пар, викликає їх інтенсивне зношування.

Механічні домішки в дизельному паливі підвищують смолоутворення, викликають засмічення системи паливоподачі, збільшують кількість відкладень та нагару на форсунках, в камері згоряння та на інших елементах, погіршуючи надійність і довговічність системи подачі палива, значно збільшуючи витрату палива і димність відпрацьованих газів. При використанні засміченого палива термін служби паливної апаратури скорочується у  $5\text{...}6$  разів.

Перед заправкою в бак машини паливо повинне відстоюватись не менше 10 днів. Чистота різних шарів палива при цьому буде неоднаковою. Навіть при 10-денному відстою в нижніх шарах палива залишаються дрібні частинки механічних домішок, що становлять найбільшу небезпеку паливній апаратурі. Машини необхідно заправляти паливом верхніх шарів. Вміст механічних домішок у дизельному паливі не допускається.

Не дозволяється використовувати паливо, що містить воду, оскільки вона призводить до порушень у роботі двигуна, неможливості його пуску, підвищеної корозії, збільшення нагароутворення.

Чистоту дизельного палива оцінюють за *коефіцієнтом фільтрації*, який визначає ефективність та надійність роботи двигуна, особливо його паливної апаратури. *Коефіцієнт фільтрації знаходиться як відношення часу фільтрування через фільтр з паперу БФДТ при атмосферному тиску десятої порції палива, що фільтрується, до першої.* На фільтрування палива впливають наявність у ньому механічних домішок, води, смолистих речовин, нафтоених кислот. Для дизельного палива різних марок коефіцієнт фільтрації коливається від 2 до 3.

Внаслідок мікробного ураження палива можлива відмова двигунів через засмічення паливопроводів та паливних фільтрів. У дизельному паливі зустрічаються 45 видів різних бактерій та близько 20 видів різних грибків. Палива забруднюються у резервуарах та трубопроводах, які поперемінно використовують для різних нафтопродуктів. Мікробне забруднення палива особливо часто відбувається у резервуарі, на дні якого є вода. Зараження дизельного палива відбувається шляхом проникнення бактерій та грибків ззовні з повітрям чи водою, або внаслідок контакту із зараженим раніше паливом. Мікроорганізми поширюються вздовж поверхні розділу вода – паливо та живуть у воді, харчуючись паливом.

У міру розвитку бактерій та грибків якість палива різко погіршується, відбуваються несприятливі зміни палива, які викликають його помутніння, мікробіологічну корозію, утворення осаду, засмічення фільтрів та трубопроводів, розкладання присадок та добавок.

Помутніння палива відбувається через підвищення вмісту у ньому води внаслідок утворення побічних продуктів життєдіяльності мікробів – поверхнево-активних речовин, які збільшують розчинність води у паливі. Мікробіологічна корозія відбувається в результаті виділення бактеріями сірководню, який розчиняється в паливі та викликає сильну точкову корозію паливних баків та трубопроводів. Мікроорганізми осідають на дні резервуарів та утворюють шар, який сприяє мікробіологічній корозії. Осад забруднюється життєздатними мікробами та грибками і є постійним джерелом інфікування. Різні добавки та присадки в дизельному паливі, що особливо містять азот і фосфор, засвоюються мікроорганізмами, та їх ефективність знижується.

Для знезараження дизельного палива та профілактики його зараження розроблено добавку на основі похідних ізотіазолону та ін.

## **АСОРТИМЕНТ ДИЗЕЛЬНИХ ПАЛИВ**

Нафтопереробні заводи в Україні виробляють дизельне паливо за ДСТУ 7688:2015. Цим стандартом передбачена наступна класифікація дизельних палив:

- за кліматичними умовами використання встановлено такі марки дизельного палива: Л – літнє, що використовують за температури повітря не нижче ніж 5 °С; З – зимове, що використовують за температури повітря від 5 °С до мінус 20 °С; Арк – арктичне, що використовують за температури повітря нижче ніж мінус 20 °С.

- за рівнем екологічної безпеки встановлено такі екологічні класи дизельного палива: Євро 3, Євро 4, Євро 5.

Умовна позначка дизельного палива має містити:

- літери ДП (позначення дизельного палива);
- літерне позначення марки (Л, З, Арк);
- символ екологічного класу (Євро 3, Євро 4, Євро 5);
- символ визначення вмісту (об'ємної частки) метилових/етилових естерів жирних кислот (В0 – у разі їх відсутності; В5 – не більше ніж 5 %; В7 – понад 5 % та не більше ніж 7 %).

Приклад позначки дизельного палива літнього екологічного класу Євро4 з вмістом метилових/етилових естерів жирних кислот понад 5 % та не більше ніж 7 %:

«Паливо дизельне ДП-Л-Євро 4-В7 згідно з ДСТУ 7688:2015».

Познака палива може містити торгову марку (товарний знак) виробника.

Приклад позначки дизельного палива торгової марки «ХХХ» арктичного екологічного класу Євро 3 без вмісту метилових/етилових естерів жирних кислот:

«Паливо дизельне ХХХ-ДП-Арк-Євро3-ВО згідно з ДСТУ 7688:2015».

Дизельне паливо за своїми фізико-хімічними показниками має відповідати вимогам та нормам, наведеним у таблиці 1.

Таблиця 1 – Фізико-хімічні показники дизельного палива

Назва показника	Значення для марок			Метод контролювання
	Л	З	Арк	
1 Цетанове число, не менше	51	49	48	Згідно з ГОСТ 3122 або ДСТУ ISO 5165 та ДСТУ-Н 7622, або ASTM D613 [1], або EN 15195 [2], або EN 16144 [3]
2 Цетановий індекс, не менше	46,0			Згідно з ДСТУ ISO 4264 або ГОСТ 27768 та 9.3, або ASTM D4737 [4]
3 Густина за температури 15 °С, кг/м <sup>3</sup> , у межах	820—845	800—845	800—840	Згідно з ДСТУ EN ISO 3675 або ДСТУ ISO 12185, або ДСТУ ГОСТ 31072, або ASTM D1298 [5], або ASTM D4052 [6]
4 Масова частка поліциклічних ароматичних вуглеводнів, %, не більше: Євро5 Євро4 Євро3	8 11 11			Згідно з ДСТУ EN 12916 <sup>1)</sup> або EN 12916 <sup>2)</sup> [7]
5 Вміст сірки, мг/кг, не більше Євро5  Євро4  Євро3	10  50  350			Згідно з ДСТУ EN ISO 20884 або ДСТУ ISO 20846 <sup>2)</sup> , або EN ISO 20846 [8], або EN ISO 13032 [9] Згідно з ДСТУ EN ISO 20884 або ДСТУ ISO 20847 <sup>2)</sup> , або ДСТУ ISO 20846 <sup>2)</sup> , або ДСТУ EN ISO 14596 <sup>1)</sup> , або ASTM D4294 [10], EN ISO 20846 [8], або EN ISO 13032 [9] Згідно з ДСТУ EN ISO 20884 або ДСТУ ISO 20846 <sup>2)</sup> , або ДСТУ ISO 20847 <sup>2)</sup> , або ДСТУ EN ISO 14596 <sup>1)</sup> , або ДСТУ ISO 8754 <sup>1)</sup> , або ГОСТ 19121 <sup>1)</sup> , або ASTM D4294 [10]
6 Температура спалаху в закритому тиглі, °С, не нижче Євро5 Євро4 Євро3	55 55 40			Згідно з ДСТУ ISO 2719 або ГОСТ 6356, або ASTM D93 [11]
7 Коксованість 10-відсоткового залишку, % (мас.), не більше	0,30			Згідно з ДСТУ EN ISO 10370 або ГОСТ 8852, або ГОСТ 19932, або ASTM D189 [12], або ASTM D524 [13], або EN ISO 10370 [14]
8 Зольність, % (мас.), не більше	0,01			Згідно з ДСТУ EN ISO 6245 або ГОСТ 1461, або ASTM D482 [15]
9 Масова частка води, % (мг/кг), не більше	0,02 (200)			Згідно з ДСТУ ISO 12937 або ГОСТ 2477
10 Масова частка домішок, мг/кг, не більше	24			Згідно з ДСТУ EN 12662 або ГОСТ 6370

## Продовження таблиці 1

11 Корозія мідної пластинки (3 год за температури 50 °С), клас, не більше	1			Згідно з ДСТУ EN ISO 2160 або ГОСТ 6321, або ASTM D130 [16]
12 Окиснювальна стабільність: — г/м <sup>3</sup> , не більше або — год, не менше	25			Згідно з ДСТУ ISO 12205 або ДСТУ 7684, або ASTM D2274 [17] Згідно з EN 15751 [18]
	20			
13 Змащувальна здатність: діаметр плями зносу за температури 60 °С, мкм, не більше	460			Згідно з ДСТУ ISO 12156-1
14 Кінематична в'язкість за температури 40 °С, мм <sup>2</sup> /с, у межах	2,00—4,50	1,50—4,00	1,50—4,00	Згідно з ДСТУ ГОСТ 33 або ASTM D445 [19], або EN ISO 3104 [20]
15 Фракційний склад: — за температури 250 °С, випаровується, % (об.), не більше — за температури 350 °С, випаровується, % (об.), не менше — 95 % (об.) переганяється за температури, °С, не вище	65			Згідно з ГОСТ 2177 (метод А), або ДСТУ ISO 3924, або EN ISO 3405 [21], або ASTM D86 [22]
	85			
	360			
16 Об'ємна частка метилових/етилових естерів жирних кислот, %: — для дизельних палив В0 — для дизельних палив В5 — для дизельних палив В7	0 Не більше ніж 5 Понад 5 та не більше ніж 7			Згідно з ДСТУ EN 14078 <sup>3)</sup> або EN 14078 [23]
17 Гранічна температура фільтрованості, °С, не вище	- 5	- 20	- 30	Згідно з ДСТУ EN 116 або ГОСТ 22254, або EN 16329 [24]
18 Температура помутніння, °С, не вище	—	—	- 20	Згідно з ГОСТ 5066 (метод Б) або ДСТУ ISO 3015, або ASTM D2500 [25]
19 Вміст марганцю, мг/дм <sup>3</sup> , не більше	—	—	2,0	Згідно з EN 16576 [26]

## ТОКСИЧНІСТЬ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ

Робота автомобілів супроводжується забрудненням довкілля викидами токсичних газоподібних та твердих речовин. Випускні та картерні гази двигунів – це основне джерело забруднення.

Токсичні викиди негативно впливають на здоров'я людей і тварин, викликають пошкодження рослин, прискорюють корозію металів та руйнування будівельних конструкцій. Найбільшу шкоду для людини, тваринного та рослинного світу завдають оксиди азоту та сірки, сажа, альдегіди, оксид вуглецю, вуглеводні, бензопірен, аміак. Істотне значення мають також запах і сльозогінна дія відпрацьованих газів. Токсичні продукти згоряння палива накопичуються у ґрунті, воді, рослинах та на спорудах. Перебуваючи в повітрі, вони частково перетворюються на інші сполуки, які можуть бути більш токсичнішими, ніж вихідні продукти.

## КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що спричиняє підвищену корозію та зношування деталей двигуна?
2. Що характеризує кислотність палива і на, що вона впливає?
3. Від чого залежить корозійність дизельних палив?

4. Що таке температура помутніння та температура застигання?
5. Як діють депресорні присадки?
6. Що оцінює і визначає коефіцієнт фільтрації?
7. Які види дизельного палива ви знаєте?
8. Які властивості повинно мати екологічно чисте дизельне паливо?