

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Автомобільний факультет

Кафедра технічної експлуатації і сервісу автомобілів  
ім. Говоруценка М.Я.

Наглюк М.І.

Конспект лекцій з дисципліни «Експлуатаційні матеріали» для  
бакалаврів усіх форм навчання за освітньою програмою  
«Підприємництво, торгівля та біржова діяльність»

Харків – 2024

УДК 629.33(07)

Наглюк М.І. Конспект лекцій з дисципліни «Експлуатаційні матеріали» для бакалаврів усіх форм навчання за освітньою програмою «Підприємництво, торгівля та біржова діяльність». Харків: ХНАДУ, 2024. 180 с.

К конспекті викладені основи технології виробництва експлуатаційних матеріалів, вимоги, що пред'являються до них, основні властивості і методи випробувань матеріалів. Наведено основні різновиди, типи та марки палив, експлуатаційних матеріалів та технічних рідин, що використовуються при експлуатації та обслуговуванні засобів транспорту.

Призначений для бакалаврів усіх форм навчання за освітньою програмою «Підприємництво, торгівля та біржова діяльність».

© Наглюк М.І., 2024

© Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 2024

## ЗМІСТ:

Лекція 1. Загальні відомості про нафту і технологію її переробки.....	3
Лекція 2. Автомобільні бензини .....	17
Лекція 3. Дизельні палива .....	45
Лекція 4. Альтернативні палива.....	61
Лекція 5. Моторні оливи.....	77
Лекція 6. Оливи різного призначення .....	106
Лекція 7. Пластичні мастила та технічні рідини.....	118
Лекція 8. Конструкційно-ремонтні матеріали.....	146
Список літератури .....	180

# ЛЕКЦІЯ 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО НАФТУ І ТЕХНОЛОГІЮ ЇЇ ПЕРЕРОБКИ

План лекції:

1.1 Вступ.

1.2 Походження нафти та її видобуток.

1.3 Хімічна структура нафти, її вплив на властивості палива та мастильних матеріалів.

1.4 Фракційний, груповий та елементний склад нафти і продуктів її переробки.

1.5 Отримання палива і мастильних матеріалів з нафти.

1.6 Очищення палив та олив.

1.7 Контрольні питання.

## 1.1 ВСТУП

У світі утворилась і діє своєрідна система, до якої входять людина, техносфера і біосфера. Під техносферою розуміють усі технічні засоби, створені людиною, під біосферою – навколишню живу природу. Ядром техносфери є комплекс машина-енергія. У цьому комплексі двигун як перетворювач енергії палива в механічну енергію відіграє важливу, якщо не провідну роль. Оскільки однією з головних умов нормальної та ефективної роботи двигуна є якість і правильне застосування палив, мастильних матеріалів та охолоджуючих рідин, то вони стають найважливішою сполучною ланкою всієї біотехнічної системи.

**Хімотологія** – молода наука, вона тільки починає розвиватися, але, оскільки окремі питання розглядаються з хімотологічних позицій, фахівцю в галузі двигунобудування корисно ознайомитися із загальними, принциповими положеннями цієї науки.

Хімотологія як наука склалася на стику хімії та моторобудування. Сучасний фахівець у галузі двигунобудування має бути знайомий з основами хімотології. Оптимальні конструктивні рішення, які слід приймати під час створення будь-якого двигуна внутрішнього згорання, можуть бути знайдені та реалізовані лише при врахуванні властивостей та можливостей палив та мастильних матеріалів.

Нині стала очевидною необхідність системного підходу до комплексного розвитку як моторобудування, і нафтопереробної промисловості. При забезпеченні оптимальних показників системи **двигун–паливо–мастильні матеріали–охолоджувальні рідини**, з'являється можливість отримати найбільшу ефективність використання всіх компонентів цієї системи.

При сучасних масштабах застосування двигунів внутрішнього згорання зміна навіть частки відсотка використання енергетичного потенціалу палив призводить до економії чи перевитрати мільйонів тон пального. Недоцільне використання мастильних матеріалів, невідповідність показників якості моторних олив конструкції двигуна можуть призвести не тільки до перевитрати палива та мастильних матеріалів, але й до суттєвого скорочення надійності двигуна, збільшення його шкідливого впливу на біосферу.

Щорічне споживання паливно-мастильних матеріалів у всьому світі в даний

час досягло декількох сотень мільйонів тон. Незважаючи на суттєве підвищення паливної економічності двигунів, споживання палива та мастильних матеріалів продовжує зростати внаслідок збільшення числа двигунів. Сумарна потужність лише автомобільних двигунів нині становить понад 30 млрд. кВт, а витрата бензину понад 400 млн. т на рік.

В останні роки в автомобільній промисловості реалізується велика програма дизелізації автомобілів, яка дозволить заощадити мільйони тон палива (без урахування переведення частини вантажних автомобілів на природний та нафтовий газ). Застосування засобів електроніки, у тому числі використання мікропроцесорної техніки в керуванні двигуном та трансмісією, дає змогу підвищити паливну економічність бензинових двигунів на 10 – 15 %.

Дуже важливою передумовою для вивчення хімотології є також суттєвий вплив показників якості палив та мастильних матеріалів на довкілля. Цілеспрямоване управління екологічною системою неможливе без знання хімотології. Встановлено, наприклад, певний зв'язок токсичності відпрацьованих газів двигунів з фракційним та груповим хімічним складом палива, наявністю в ньому сірки тощо.

## **1.2 ПОХОДЖЕННЯ НАФТИ ТА ЇЇ ВИДОБУТОК**

Нафта була і залишається основною сировиною для отримання сучасних палив та мастильних матеріалів для двигунів внутрішнього згорання.

Існує три гіпотези походження нафти.

**1-а гіпотеза.** Найбільш сучасною та поширеною є гіпотеза органічного (біогенного) походження, згідно з якою нафта утворилася з останків рослин і тварин, що накопичилися в осадових породах морів та океанів. Опинившись у надрах землі, вони протягом мільйонів років зазнавали складних хімічних змін в умовах високих температур і тисків у присутності різних природних каталізаторів. У результаті глибинних областей земної кори утворилися первинні родовища нафти.

З первинних родовищ нафта поступово по тріщинам, піщаним і пористим породам переміщалася (мігрувала) і накопичувалась на різних глибинах у порожнечах земної кори, утворюючи вторинні родовища, тобто. зони заповнення, звідки вона і видобувається нині.

**2-а гіпотеза.** Існують прихильники гіпотези неорганічного (абіогенного) походження нафти. Вперше найповніше її висловив Д.І. Менделєєв, який вважав, що нафту утворилася з карбідів металів і водяної пари в умовах глибинних процесів, що відбуваються в земній корі при впливі високих тисків і температур.

**3-я гіпотеза.** Є прихильники та комплексного підходу до питання походження нафти. Вони вважають, що могли існувати обидва механізми утворення нафти (органічний і неорганічний), які доповнювали певною мірою один одного або діяли на різних стадіях процесу.

Розглянемо докладніше біогенну гіпотезу. Основним аргументом її прихильників є територіальний збіг нафтових родовищ та зон осадових порід. Наприклад, велика кількість нафтових родовищ у зоні шельфу морів і океанів, прибережних зон, зон, де у віддалені геологічні періоди було морське дно, тощо.

Проте останніми роками виявлено великі скупчення нафти, які пов'язані з

осадовими породами. Це дозволило припустити як варіант біогенної гіпотези, що можливі процеси утворення нафти з органічного матеріалу, що потрапив у глибокі надра землі не шляхом поступового осадження, а в результаті геологічних процесів, характерних для ранніх періодів формування земної поверхні

За класичною біогенною гіпотезою початковою стадією процесу утворення нафти було розкладання останків тварин і рослин під впливом атмосферного кисню та бактерій з утворенням газів та інших продуктів.

Гази (в основному  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ) розсіювалися в атмосфері, розчинялися у воді і поглиналися природними адсорбентами.

Частина вихідного органічного матеріалу, найбільш стійка до окисних процесів і бактеріального впливу, залишалася в осадових породах і поступово опускалася в їх товщу або в результаті тектонічних процесів опинялася в глибоких надрах землі за кілька кілометрів від поверхні, Потрапивши у відновне середовище під тиском до 30 МПа при температурі 150...250°C, і присутності природних каталізаторів ці продукти (що складаються в основному з жирів) протягом багатьох мільйонів років перетворювалися на нафту – складну суміш різних вуглеводнів та інших органічних сполук.

Першу у світі свердловину пробував 1848 р. Ф.А. Семенов – технік невеликого промислу неподалік Баку.

Після появи двигунів внутрішнього згорання, а пізніше автомобіля, розвиток видобутку нафти з кожним роком набував все більших масштабів.

Світові розвідані запаси нафти до середини 70-х років склали 82 млрд. т. Унікальні властивості нафти та одержуваних з неї палив зумовили її чільну роль як енергоносія. Але у зв'язку з величезним споживанням нафти та ускладненням її видобутку виникла необхідність вирішення питань поступового переходу на нові форми енергетичної технології, базою якої стає ядерна, а пізніше і термоядерна енергетика. Крім того, з кожним роком стає дедалі ясніше, що унікальні властивості нафтових палив важко реалізувати на базі заміників бензину та дизельного палива. Тому все більше розроблятимуться вугільні родовища з подальшою переробкою вугілля в синтетичне рідке паливо.

Знайде, ймовірно, широке застосування як паливо водень, що отримується з води шляхом використання термоядерної та сонячної енергії.

### **1.3 ХІМІЧНА СТРУКТУРА НАФТИ, ЇЇ ВПЛИВ НА ВЛАСТИВОСТІ ПАЛИВА ТА МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Основну масу речовини нафти становлять вуглеці трьох основних груп: парафінові (алкани), нафтеніві (циклани) та ароматичні (арени), склад та властивості яких залежать від походження та місця видобутку нафти. Структура нафти представлена рисунком 1.1.

Парафінові вуглеводні мають високу температуру застигання, що робить небажаним їх присутність у зимових видах палива та мастил.

Загальний вміст парафінових вуглеводнів у нафтах і продуктах переробки становить близько 50-60%, причому найбільше їх вміст у фракціях, що википають до 150°C.

Нафтеніві вуглеводні при однаковій з парафінової молекулярної масі в

області низьких температур більш інертні до окислення. Нафтові вуглеводні мають невисоку температуру плавлення, тому знижують температуру застигання нафтопродуктів, що є цінним компонентом зимових видів палива та мастил. Завдяки стійкості нафтових вуглеводнів до окислення за високих температур бензин має хороші протидетонаційні властивості.

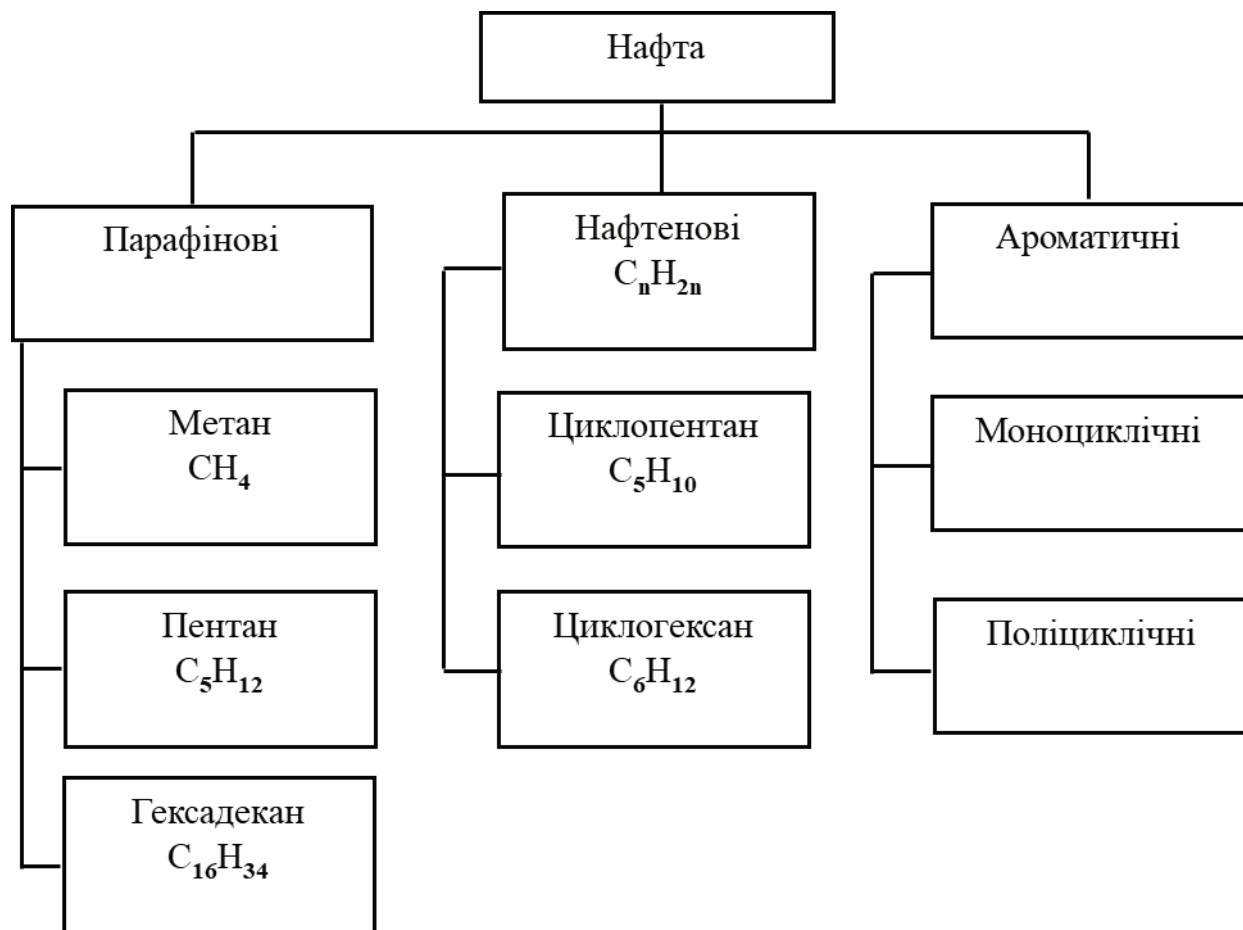


Рисунок 1.1 – Загальна структура нафти

Вміст нафтових вуглеводнів у нафти перебуває у межах від 20 до 30% і від, в масляних фракціях сягає 70%.

Ароматичні вуглеводні мають високу термічну стійкість до реакцій окислення. Для цього вуглеводнів характерні високі значення в'язкості, щільності, температури кипіння. При зниженні температури в'язкість арен різко зростає, що позначається на властивостях мастил.

Присутність ароматичних вуглеводнів у бензинах покращує їх протидетонаційні властивості, а в дизельних паливах погіршує samozайmistість і робить роботу дизеля жорсткою.

У нафтах міститься від 10 до 48% ароматичних вуглеводнів.

Крім вуглеводнів трьох основних груп у нафті присутні неграничні вуглеводні, органічні кислоти, смолисто-асфальтові речовини, мінеральні домішки, сірчисті та азотисті сполуки.

Ненасичені вуглеводні утворюються в процесі термічної переробки нафти.

Вони легко окислюються і мають схильність до реакцій приєднання та ущільнення. Через малу стабільність ненасичених вуглеводнів їхня присутність у паливі та мастильних матеріалах небажана.

Органічні кислоти – це сполуки, що містять кисень. Основними органічними кислотами в нафтах є нафтенові. Вони активно взаємодіють із кольоровими металами, утворюючи солі. Велика кількість нафтенових кислот міститься у паливо-газойлевих фракціях нафти.

Смолисто-асфальтові речовини є складними сполуками вуглецю, водню, кисню, іноді сірки, яка частково замінює водень. Смолисто-асфальтові речовини поділяються на нейтральні нафтові смоли, асфальтени, карбени та кислі нафтові смоли. Смолисто-асфальтові речовини є нерозчинними та погіршують якість нафтопродуктів, тому присутність їх у легких паливах неприпустима.

Сірчисті сполуки діляться на активні, що безпосередньо вступають у реакцію з металами (сірководень  $H_2S$ , елементарні сірка  $S$ , меркаптани), та неактивні (нейтральні), які на метали не діють.

Нейтральні сполуки становлять основну масу сірчистих сполук – 70...80%. Наявність активних сірчистих сполук у нафтопродуктах не допускається.

Азотисті сполуки містяться в нафтах у малих кількостях (0,03...3%) та практично видаляються під час очищення нафтопродуктів.

#### **1.4 ФРАКЦІЙНИЙ, ГРУПОВИЙ ТА ЕЛЕМЕНТНИЙ СКЛАД НАФТИ І ПРОДУКТІВ ЇЇ ПЕРЕРОБКИ**

Нафта є в'язкою, маслянистою рідиною з характерним запахом. Колір її залежить від розчинених у ній смол: темно-бура, буро-зелена, а іноді світла, майже безбарвна. На світлі нафта трохи флуоресціює. Вона легша за воду і завжди утворює на водній поверхні плями, що розтікаються (до мономолекулярного шару). Щільність нафти залежить від родовищ і коливається від 770 до 880  $кг/м^3$ .

Кінематична в'язкість більшості нафт рідко перевищує 40...60  $мм^2/с$  при 20°C. У воді нафта не розчиняється, а при інтенсивному перемішуванні утворює стійкі емульсії, що повільно розшаровуються. Так як нафта представляє складну суміш індивідуальних вуглеводнів, то вона не має певних фізичних констант, таких як температура кипіння, температура застигання та ін.

При розгляді фізичних та хімічних властивостей нафти розрізняють три види її складів: **фракційний, груповий хімічний та елементний**.

**Фракційний склад нафти.** При атмосферному тиску та підвищенні температури з нафти випаровуються послідовно різні індивідуальні вуглеводні. Залежно від температурного інтервалу, в якому википають нафтопродукти, вони згруповані у різні фракції. Отже, фракцією називається група вуглеводнів, що википає у певному інтервалі температур.

Нижче наведені інтервали температури (°C), у яких википають загальноприйнятні фракції нафти.

Бензин.....	35 – 205
Паливо для реактивних двигунів .....	120 – 315
Дизельне паливо.....	180 – 360
Газойль.....	230 – 360

Після відгону цих фракцій залишається темна в'язка рідина, звана мазутом (від арабського слова макзулат, що означає «відкидання»). Довгий час, до кінця XIX ст., мазут у промисловості не застосовували, він був відходом нафтопереробки. Це пояснювалося тим, що подальша його переробка була пов'язана з великими труднощами, оскільки температура перегонки мазутних фракцій при атмосферному тиску вища, ніж температура їхньої термічної деструкції, тобто розриву молекул на частини під дією температури. Розділити мазут на фракції вдалося лише за зниженого тиску (4...6 кПа). Цей процес, званий вакуумним, дозволив отримати з мазуту соляріві фракції та дистильтні мастила (легкі, середні та важкі), у тому числі й базові оливи для двигунів внутрішнього згоряння.

Після відгону з мазуту масляних фракцій залишається гудрон або напівгудрон, які використовують для одержання залишкових олив і бітуму.

**Груповий хімічний склад нафти та продуктів її переробки.** Груповим хімічним складом нафти називають вміст у ній вуглеводнів певних хімічних груп, що характеризуються співвідношенням та структурою сполуки атомів вуглецю та водню.

Хімічні групи (гомологічні ряди) вуглеводнів характеризуються насамперед кількісним співвідношенням атомів вуглецю та водню. Це співвідношення виражається загальною формулою групи.

Розглянемо основні; групи вуглеводнів, що містяться в нафті та продуктах її переробки.

**Алкани** (парафінові вуглеводні) є насиченими вуглеводнями (в них відсутні подвійні зв'язки). Загальна хімічна формула алканів  $C_nH_{2n+2}$  (де  $n$  – число атомів вуглецю).

Кількість алканів у нафтах залежить від родовища нафти і становить 25...30%. У нафтах деяких родовищ, з урахуванням розчинених у них газів, вміст алканів досягає 50...70%. У різних фракціях однієї і тієї ж нафти вміст алканів зазвичай неоднаковий і зменшується в міру збільшення молекулярної маси фракції та температури кінця її кипіння. Наприклад, у головній фракції нафти, що википає до 300°C, вміст алканів досягає 88%. У залишкових фракціях їх вміст знижується до 5...10%.

За своєю структурою алкани бувають *нормальні та ізоалкани*.

Структура нормальних алканів є нерозгалужений ланцюжок атомів вуглецю, вільні валентності якого зайняті воднем.

Якщо ланцюжок атомів вуглецю має одне або кілька розгалужень, структура називається ізомерною, а алкани, що мають таку структуру, називають *ізоалканами*. Загальна формула зберігається ( $C_nH_{2n+2}$ ).

Ізомерна структура алканів істотно впливає на їх фізичні та хімічні властивості. Температура кипіння рідких та температура плавлення твердих ізоалканів, як правило, нижча, ніж у нормальних алканів. Нормальні алкани при низьких і помірних температурах, зазвичай, дуже інертні, в тому числі і по відношенню до кисню. Це сприяє, наприклад, високій хімічній стабільності бензинів, що містять нормальні алкани. Ізоалкани при помірних температурах мають меншу стабільність.

З підвищенням температури стабільність нормальних та ізоалканів поступово

знижується, причому зниження стабільності у нормальних алканів відбувається спочатку приблизно таким же темпом як і у ізоалканів, але при температурі 250...300°C швидкість взаємодії з окислювачем у нормальних алканів різко збільшується і стає значно вищою, ніж у ізоалканів із тією ж молекулярною масою. Залежно від числа атомів вуглецю алкани мають газоподібний, рідкий або твердий агрегатний стан. Алкани, у яких кількість атомів вуглецю  $n = 1...4$ , за нормальних умов є газами (метан, етан, пропан, бутан). При  $n = 5...15$  це – рідини, і після  $n=16$  (гексадекан) нормальні алкани – тверді речовини (що у нафти та продуктах її переробки у розчиненому стані).

**Циклани** (нафтенові вуглеводні) також є насиченими вуглеводнями.

Вони мають циклічну структуру, їхня загальна формула  $C_nH_{2n}$ . Вперше циклани в нафті знайшли відомими російськими хіміками В.В. Марковниковим та В.М. Оглоблін. Зміст цикланів у різних нафтах становить від 25 до 75%, а окремих фракціях деяких нафт – до 80%. Циклани містяться у всіх фракціях нафти, і в міру збільшення молекулярної маси та температури кінця кипіння фракції кількість їх у ній зростає.

Циклани можуть складатися з моноциклічних структур зазвичай п'яти або шести членів (тобто груп  $CH_2$ ), а також біциклічних, рідше з'єднань з трьох кілець. Для поліциклічних сполук загальні формули мають вигляд  $C_nH_{2n-2}$ ;  $C_nH_{2n-4}$  і  $C_nH_{2n-6}$  в залежності від кількості циклів (тобто кілець). Циклани, що складаються з трьох чи чотирьох кілець, у нафтах не виявлено.

За хімічними властивостями і особливо по окислювальній стабільності циклани при нормальних температурах практично так само стабільні, як і нормальні алкани, а при високих температурах (400 ° C і вище) наближаються за стійкістю до ізоалканів, тобто мають більшу хімічну стабільність, ніж нормальні алкани

Деякі моноциклани та поліциклани мають гібридну структуру, в якій до кільця приєднані ланцюжки алканових структур.

У продуктах переробки нафти, особливо в бензинах термічного крекінгу, міститься значна кількість ненасичених вуглеводнів – *алкенів та алкадеїнів* (олефінів та деолефінів).

**Алкени** (їх загальна хімічна формула  $C_nH_{2n}$ ) відрізняються від алканів наявністю одного подвійного зв'язку між атомами вуглецю. Подвійний зв'язок із її здатністю до легкого розриву обумовлює малу хімічну стабільність алкенів. Вони легко вступають і реакцію приєднання, що є причиною їхнього швидкого окислення та окислювальної полімеризації. Цим пояснюється недостатня окисна стабільність бензинів термічного крекінгу, у яких вміст ненасичених вуглеводнів досягає 40%.

Алкени, так само як і алкани, мають нормальні та ізомерні структури, причому ізоалкени різноманітніші, ніж ізоалкани, оскільки змінюють свої властивості залежно не тільки від розташування та кількості бічних ланцюгів, але й від місця подвійного зв'язку.

Алкадеїни мають два подвійні зв'язки, і це викликає ще більшу їхню нестабільність і реакційну здатність, ніж у алкенів. Їхня загальна формула  $C_nH_{2n-2}$ .

Присутність у нафтопродуктах алкадеїнів надає їм ряд негативних якостей, у тому числі схильність до смолоутворення.

Алкени і алкадеїни – ненасичені вуглеводні, та його присутствие в паливах

вкрай небажано, оскільки скорочує термін можливого їх зберігання. У нафтах вони практично не містяться.

Найпростішим вуглеводнем ароматичного ряду (ареною) є бензол  $C_6H_6$ . Він має шестиланкову кільцеву структуру з трьома подвійними і одинарними зв'язками, що чергуються.

Для моноциклічних арен загальна формула має вигляд  $C_nH_{2n-6}$ .

Структура складніших поліциклічних аренів (наприклад, нафталіну) має у своїй основі з'єднання двох або декількох бензольних шестиланкових кілець.

Подвійні зв'язки аренів стійкі і не розриваються навіть при впливі азотної та сірчаної кислот, коли відбувається реакція заміщення одного з атомів водню (а не реакція приєднання). Розрив подвійних зв'язків у аренів можна досягти тільки при високій температурі і в присутності каталізаторів.

Загальний вміст аренів у нафтах відносно невеликий. У бензинових фракціях їх вміст зазвичай перевищує 5...25% і від родовища нафти. У більш важких фракціях вміст арен може досягати 35%.

**Елементний склад нафти.** Елементним складом нафти називають вміст у ній окремих хімічних елементів, виражене у відсотках по масі.

Аналіз нафт різних родовищ показав, що їх елементний склад змінюється мало. Основні елементи, що входять до складу нафти та продукти її переробки, це вуглець і водень. Вміст вуглецю в середньому 83,5...87%, а водню 11,5...14%. Крім вуглецю та водню в нафті міститься сірка 0,01...5,8%, кисню 0,1...1,3%, азот 0,03...1,7% і сліди металів.

Вуглець і водень входять до складу нафти у вигляді різних сполук вуглеводнів; кисень і азот знаходяться зазвичай у зв'язаному вигляді (нафтенові кислоти, смоли, феноли, аміни та ін). Сірка може бути як у зв'язаному, так і у вільному стані.

Сірка особливо негативно впливає експлуатаційні властивості продуктів, одержуваних з нафти, тому її зміст є важливим критерієм оцінки якості нафти.

Домішки, що містяться в нафтах, впливають на якість одержуваних з неї палив та мастильних матеріалів. Сучасні методи переробки нафти дозволяють повністю звільнити її від домішок і, в першу чергу, від особливо шкідливих, таких як сірка та її сполуки, нафтові смоли та ряд інших. Однак слід враховувати, що очищення нафти або отриманих з неї продуктів пов'язана зі значними витратами енергії, реактивів, часу та робочої сили, а деякі способи очищення - і з втратою певної кількості цінних продуктів та забрудненням довкілля.

Сірка в нафтах знаходиться в основному в органічних сполуках та смолах. Смоли, що містяться в нафті, є високомолекулярними сполуками, в яких крім вуглецю є кисень, сірка, азот і метали. Вміст смол у нафті змінюється у межах (від 1 до 40% і більше).

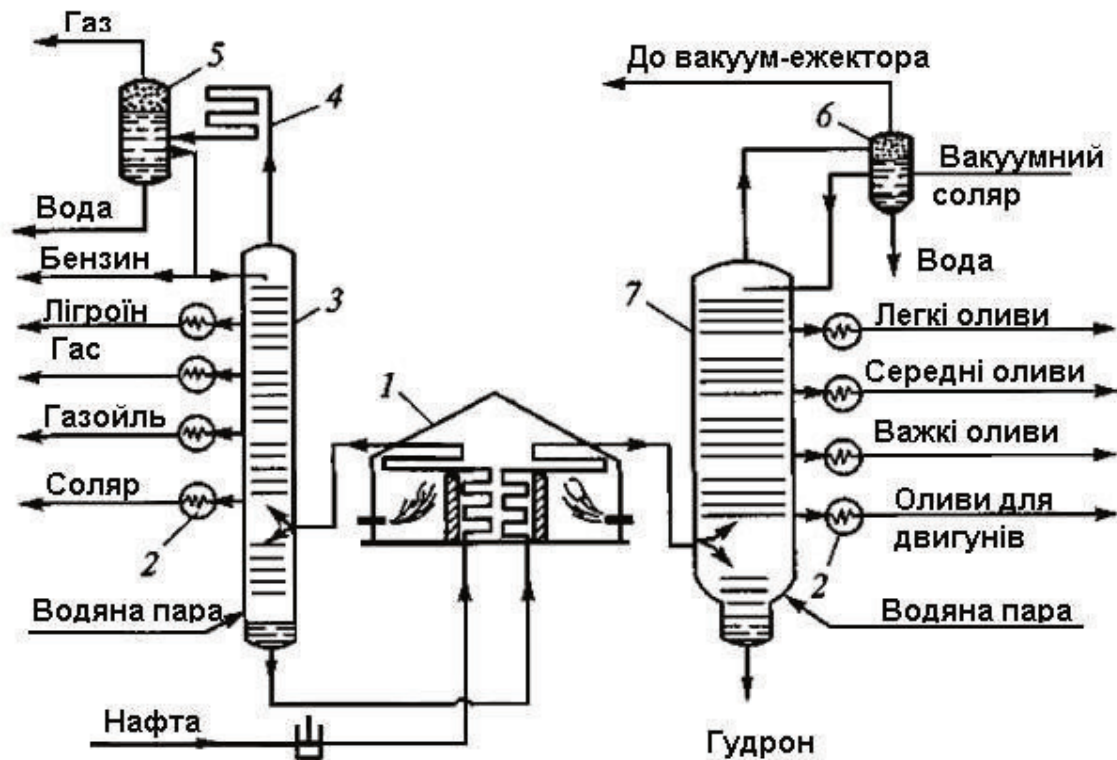
## **1.5 ОТРИМАННЯ ПАЛИВА І МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ З НАФТИ**

Основним способом переробки нафти є її пряма перегонка.

**Перегонка - дистиляція (стікання краплями)** – поділ нафти на фракції, що відрізняються за складом, заснований на відмінності в температурах кипіння її компонентів.

**Фракція** – хімічна складова частина нафти з однаковими хімічними або фізичними властивостями (температурою кипіння, щільністю, розмірами), що виділяється під час перегонки.

**Пряма перегонка** – це фізичний спосіб переробки нафти за допомогою атмосферно-вакуумної установки (рис. 1.2), принцип роботи якої полягає в наступному.



1 – трубчаста піч; 2 – теплообмінники; 3 – колона ректифікації; 4 – конденсатор;  
5 – сепаратор; 6 – збірка соляра; 7 – вакуумна колона.

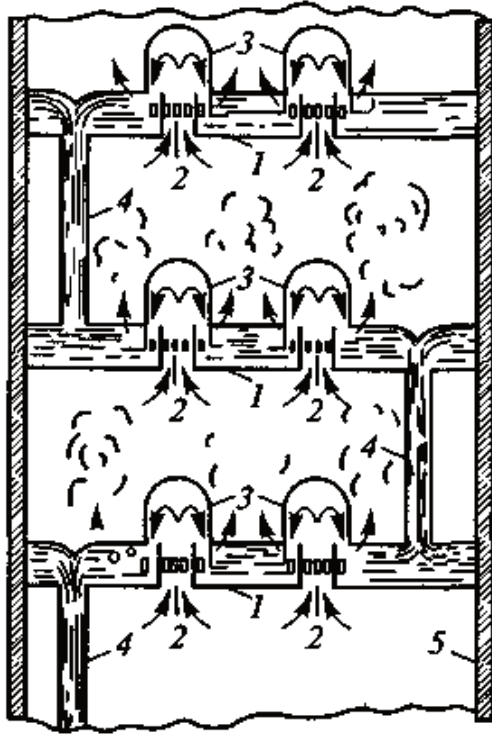
Рисунок 1.2 – Принципова схема атмосферно-вакуумної установки для прямої перегонки нафти

В результаті нагрівання нафти в спеціальній трубчастій печі 7 до 330... 350°C утворюється суміш парів нафти і рідкого залишку, що не випарувався, що надходить в ректифікаційну колону 3 з теплообмінниками 2.

У колоні ректифікації (рис. 1.3) відбувається поділ нафтових парів на фракції, що складають різні нафтопродукти. При цьому температура кипіння суміжних груп одержуваних фракцій може відрізнятись всього лише на 5 ... 8°C.

Тяжкі фракції нафти, надходячи в колону в рідкій фазі, вже в нижній її частині відокремлюються від парів і відводяться з неї у вигляді мазуту.

Залежно від хімічного складу нафти використовують дві схеми одержання палива (рис. 1.4). У першому випадку в інтервалі температур кипіння від 40 до 150°C відбирають **авіаційні бензини** та в інтервалі від 150 до 300°C – **гас**, з якого виготовляють реактивні палива. У другому випадку в інтервалі температур кипіння від 40 до 200°C відбирають **автомобільні бензини** та в інтервалі від 200 до 350°C – **дизельні палива**.



1 – металеві тарілки; 2 – отвори для проходження парів; 3 – ковпачки; 4 – зливні трубки;  
5 – циліндричний корпус.

Рисунок 1.3 – Схема ковпачкової колони ректифікації

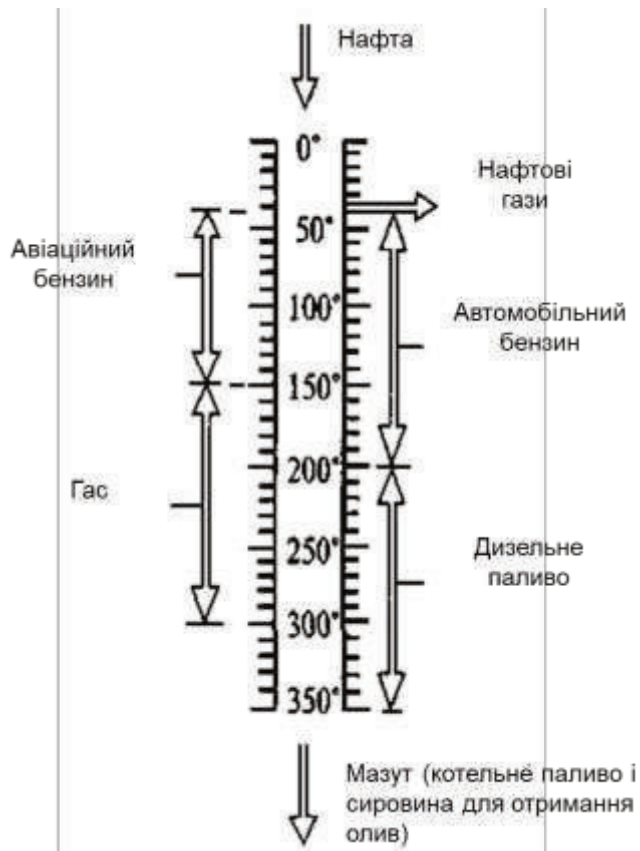


Рисунок 1.4 – Принципові схеми отримання найважливіших видів палива для двигунів під час перегонки нафти

**Мазут**, що залишається після відгону паливних фракцій (60...80% від вихідної маси нафти), використовують для отримання олив та крекінг-бензинів.

Вуглеводні з температурою кипіння нижче 40°C (попутні газы) використовують як добавки до деяких бензинів і як сировину для отримання ряду синтетичних продуктів, а також як паливо для газобалонних автомобілів.

Продуктами прямої перегонки нафти (див. рис. 1.2) є такі дистиляти: **бензин** (40...200°C); **лігроїн** (110...230°C); **гас** (140... 300°C); **газойль** (230...330°C) і **соляр** (280...350°C).

Середній вихід бензинових фракцій, що залежить від властивостей нафти, що видобувається, коливається від 15 до 25%. На долю інших палив припадає 20...30%.

**Лігроїн**, що має дещо більшу щільність, ніж бензин (важкий бензин), використовується як дизельне паливо і як сировина для отримання високооктанових бензинів.

**Газойль**, що є проміжним продуктом між **гасом** та **змащувальними мастилами**, використовується як паливо для дизелів, а також є сировиною для каталітичного крекінгу.

Продукти, одержувані способом прямої перегонки, мають високу хімічну стабільність, тому що в них відсутні ненасичені вуглеводні.

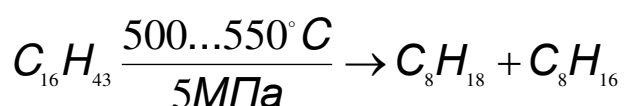
Використання для переробки нафти крекінг-процесів дозволяє збільшити вихід бензинових фракцій.

**Крекінг** – процес переробки нафти та її фракцій, заснований на розкладанні (розщепленні) молекул складних вуглеводнів за умов високих температур та тисків.

Вперше крекінг було запропоновано ученим А.А. Літнім 1875 р., а розроблено – В.Г. Шуховим в 1891 р., але перша промислова установка була побудована США.

Існують такі **види крекінгу**: термічний, каталітичний, а також гідрокрекінг та каталітичний риформінг.

**Термічний крекінг** використовують для отримання бензину з мазуту, гасу та дизельного палива.



Наприклад, при нагріванні до 500...550°C під тиском 5 МПа вуглеводень цетан, що входить до складу гасу та дизельного палива, розкладається відповідно на нормальний октан і нормальний октен, які є складовими бензину.

Бензин, що одержують за допомогою термічного крекінгу, має недостатньо високе октанове число (**66...74**) і великий вміст ненасичених вуглеводнів (**30...40%**), тобто він має погану хімічну стабільність, і його використовують в основному тільки як компонент при отриманні товарних бензинів.

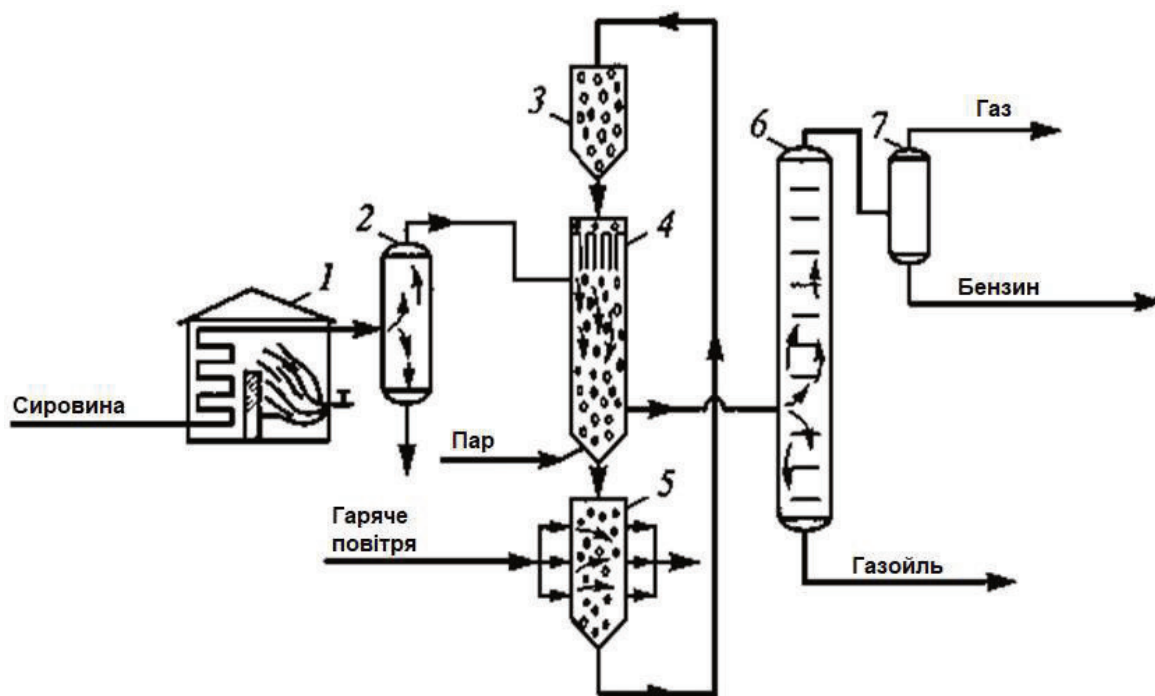
Нові установки для термічного крекінгу в даний час вже не будують, так як одержувані з їх допомогою бензини при зберіганні окислюються з утворенням смол і в них необхідно вводити спеціальні присадки (інгібітори), що різко знижують темп осмолення.

**Каталітичний крекінг** – це процес отримання бензину, заснований на розщепленні вуглеводнів та зміні їхньої структури під дією високої температури та каталізатора.

Каталітичний крекінг на заводській установці було вперше здійснено 1919р. Н.Д. Зелінським.

Як сировину при каталітичному крекінгу (рис. 1.5) використовують газойльову та солярову фракції, що одержують при прямій перегонці нафти, які нагрівають до температури 450...525°C під тиском 0,15 МПа у присутності алюмосилікатного каталізатора, який прискорює процес розщеплення молекул сировини та ізомеризує продукти розпаду, перетворюючи їх на ізопарафінові та ароматичні вуглеводні. У цьому кількість олефінів знижується до 9...10%, а октанові числа одержуваних бензинів, виміряні за моторним методом, дорівнюють 78...85.

Продукти каталітичного крекінгу є обов'язковими компонентами під час виробництва бензину марки А-80.



1 – піч для нагрівання сировини; 2 – випарник; 3 – бункер із каталізатором; 4 – реактор; 5 – регенератор; 6 – ректифікаційна колона; 7 – газосепаратор.

Рисунок 1.5 – Принципова схема каталітичного крекінгу

**Гідрокрекінг** – процес переробки нафтопродуктів, що поєднує в собі крекірування та гідрування сировини (газойлів, нафтових залишків та ін.). Такий процес проводиться під тиском водню 15...20МПа при температурі 370...450°C у присутності алюмокобальтомолібденового або алюмонікельмолібденового каталізаторів.

Октанові числа бензинових фракцій, одержуваних у результаті гідрокрекінгу складають 85...88 (за дослідницьким методом). Гідрокрекінг підвищує також вихід світлих нафтопродуктів – бензину, дизельного та реактивного палива.

Як сировину для каталітичного риформінгу зазвичай використовують бензинові фракції первинної перегонки нафти, що википають вже при 85... 180°C.

Риформінг проводять у середовищі водневмісного газу (70...90% водню) при температурі 480...540°C і тиску 2...4 МПа в присутності молібденового або платинового каталізатора.

Риформінг при використанні молібденового каталізатора називається **гідроформінг**, а при використанні платинового каталізатора – **платформінг**. Останній нині застосовується значно ширше, оскільки є більш простим та безпечним процесом.

Каталітичний риформінг використовують для отримання високооктанового компонента автомобільних бензинів (85 за моторним методом вимірювання та 95 – за дослідницьким).

**Отримання олив.** Під впливом ідей Д.І. Менделєєва нафтопромисловець В.І. Рогозін у 1876 р. побудував біля Нижнього Новгорода перший у світі завод з виробництва олив з мазуту.

За способом виробництва розрізняють **дистилятні та залишкові оливи**.

При отриманні дистилятних олив мазут нагрівають до 420...430°C (див. рис.2), створюючи у вакуумній колоні розрідження в 50 мм рт. ст.

Вихід дистилятних олив з мазуту становить близько 50%, решта – **гудрон**.

**Залишкові оливи** – це очищені гудрони. Для їх одержання мазут або напівгудрон змішують зі зрідженим пропаном (6...8 частин пропану на одну частину мазуту) за температури 40...60°C. Таким чином отримують авіаційні оливи МК-22, МС-20 та трансмісійну оливу МТ-16. МК-22 рекомендовано і для змащення агрегатів деяких автомобілів.

У мастилах, одержаних з мазуту, крім вуглеводнів обов'язково містяться нафтеніві кислоти, сірчисті сполуки та смолисто-асфальтові речовини, тому їх, як і палива, необхідно очищати.

## **1.6 ОЧИЩЕННЯ ПАЛИВ ТА ОЛИВ**

### **Методи очищення палив:**

1. Для зниження концентрації кислих продуктів (органічних кислот, сірководню) дистилят обробляють розчином лугу, а потім промивають чистою водою.

2. Для видалення смол дистилят очищають сірчаною кислотою, а потім промивають послідовно лужними розчинами і чистою водою.

3. Дистилят з великим вмістом сірчистих сполук піддають гідрогенізації в присутності каталізатора (гідроочищення), внаслідок чого вміст сірки в паливі знижується в 10...20 разів.

4. При виготовленні зимових сортів дизельних палив з них видаляють парафінові вуглеводні, що мають високі температури плавлення. Процес депарафінізації полягає у змішуванні палива з карбамідом, що утворює кристалічні комплекси з парафінами нормальної будови, та подальшої його фільтрації. Очищене таким чином паливо зберігає плинність до мінус 60°C.

### Методи очищення оливо:

1. З 70-х років XIX століття для очищення оливо застосовують концентровану сірчану кислоту, яка розчиняє смоли та деякі сірчисті сполуки, та лугу.

2. Дуже широко для очищення оливо використовують відбілюючі глини, на поверхні яких адсорбуються смоли, сірчана та органічні кислоти та інші речовини. Найчастіше контактне очищення за допомогою глини замінює обробку кислотої оливи лугом.

3. Селективним методом очищення за допомогою фенолу та фурфуролу отримують оливу з високою хімічною стабільністю, тобто оливу-рафінат, і екстракт-смолку, яку використовують як присадку до трансмісійних оливо.

### **1.7 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ**

1. Назвіть елементний склад нафти.
2. Вуглеводні яких класів становлять основну масу нафти?
3. Як здійснюється пряма перегонка нафти?
4. Розкажіть про вторинні процеси переробки нафти.
5. Як визначають теплоту згоряння палива за елементним складом?
6. Що називають нижчою теплотою згоряння?
7. Як визначають теплоту згоряння рідкого палива дослідницьким методом?

## ЛЕКЦІЯ 2. АВТОМОБІЛЬНІ БЕНЗИНИ

План лекції:

- 2.1 Вступ
- 2.2 Експлуатаційні вимоги бензинів
- 2.3 Екологічні властивості бензинів
- 2.4 Карбюраційні властивості бензинів
- 2.5 Низькотемпературні властивості бензинів
- 2.6 Нормальне та детонаційне згоряння
- 2.7 Детонаційна стійкість бензинів та її оцінка. Антидетонатори
- 2.8 Властивості бензинів, що впливають на утворення відкладень в двигуні
- 2.9 Корозійні властивості бензинів
- 2.10 Екологічні вимоги до бензинів
- 2.11 Асортимент бензинів, що виробляються в Україні
- 2.12 Контрольні запитання

### 2.1 ВСТУП

Автомобільний транспорт є основним споживачем нафтового палива.

В даний час у світі експлуатується близько 1 млрд автомобілів.

Автомобільний парк України становить менше 1% від чисельності автомобілів, що експлуатуються у світі. У той же час це один з секторів світового автомобільного ринку, що найбільш динамічно розвиваються. За останнє десятиліття кількість автомобілів у країні зросла в 1,7 раза та продовжує зростати.

Сумарне світове споживання моторних палив становить близько 1,75 млрд т/рік, у тому числі автомобільних бензинів на які припадає понад 800 млн т/рік.

Ще нещодавно вважалося, що моторне паливо нафтового походження активно витіснятиметься альтернативними видами палива: зрідженим нафтовим газом, стисненим і зрідженим природним газом, спиртами, воднем, електрикою та ін.

Однак освоєння альтернативних видів палив зустрічає певні технічні та економічні труднощі, тому є впевненість, що рідке паливо нафтового походження залишиться на найближчі десятиліття основним як двигунів з іскровим запалюванням, так і дизельних двигунів.

Асортимент і якість бензинів, що виробляються та застосовуються, визначаються структурою автомобільного парку країни, технічними можливостями вітчизняної нафтопереробної та нафтохімічної промисловості, а також екологічними вимогами, які останнім часом стали визначальними.

Негативний вплив викидів автотранспорту на довкілля призводить до необхідності посилювати норми на склад відпрацьованих газів автомобілів.

Продукти згоряння бензинів, що містяться в відпрацьованих газах автомобіля, надходять в атмосферу, забруднюючи навколишнє середовище. Особливо сильне забруднення повітряного басейну цими газами спостерігається у великих містах з великою кількістю експлуатованих автомобілів.

З метою зниження шкідливих викидів автомобілями їх обладнали каталітичними системами нейтралізації відпрацьованих газів, а це в свою чергу викликало посилення вимог до якості бензину, що застосовується.

Удосконалення конструкції двигунів і автомобілів, підвищення якості бензинів, що виробляються та застосовуються, повинно супроводжуватися загальним підвищенням культури експлуатації автомобільного транспорту.

## 2.2 ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВИМОГИ БЕНЗИНІВ

Для двигунів внутрішнього згорання з примусовим займанням як паливо використовується бензин. Бензин є сумішшю вуглеводнів, що википають при температурі від 35 до 215°C.

Палива для бензинових двигунів повинні мати такі фізико-хімічні властивості, що будуть забезпечувати:

- нормальне та повне згорання отриманої суміші в двигунах (без виникнення детонації);
- утворення паливоповітряної суміші необхідного складу;
- безперебійну подачу бензину в систему живлення двигуна;
- відсутність корозії та корозійних зносів деталей двигуна;
- якомога менше утворення відкладень у впускному трубопроводі, камерах згорання та інших частинах двигуна;
- збереження якості при зберіганні, перекачуванні та транспортуванні;
- утворення мінімальну кількість продуктів згорання, які забруднюють довкілля.

## 2.3 ЕКОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ БЕНЗИНІВ

Екологічні властивості бензинів забезпечуються обмеженнями щодо вмісту окремих токсичних речовин за груповим вуглеводневим складом, за вмістом низькокиплячих вуглеводнів, а також сірки та бензолу.

Ці обмеження дозволяють забезпечити надійну роботу каталітичної системи нейтралізації відпрацьованих газів (ВГ) та сприяють зменшенню впливу автомобільного парку на забруднення навколишнього середовища.

У таблиці 2.1 наведено вимоги до автомобільних бензинів у країнах Європейського Економічного Співтовариства.

Таблиця 2.1 – Вимоги до автобензинів у країнах Європейського Економічного Співтовариства

Показник	Євро-2	Євро-3 2002 г.	Євро-4 2005 г.	Євро-5 2009 г.
Вміст бензолу, макс., %	5,0	1,0	1,0	1,0
Вміст сірки, макс. ppm	500	150	50	10
Вміст ароматичних вуглеводнів, макс., %	–	42	35	35
Вміст олефінових вуглеводнів, макс., %	–	18	18	14
Вміст кисню, макс., %	–	2,3	2,7	2,7

Продовження таблиці 2.1

Фракційний склад:				
до 100°С переганяється, не менше	–	46	46	46
до 150°С переганяється, не менше	–	75	75	75
Тиск насичених парів, кПа, не більше	–	60	60	60
Наявність миючих присадок	–	Обов'язково		

У зв'язку з приєднанням України до європейських екологічних програм виникла гостра необхідність організації промислового виробництва автомобільних бензинів, відповідних європейським вимогам (EN-228).

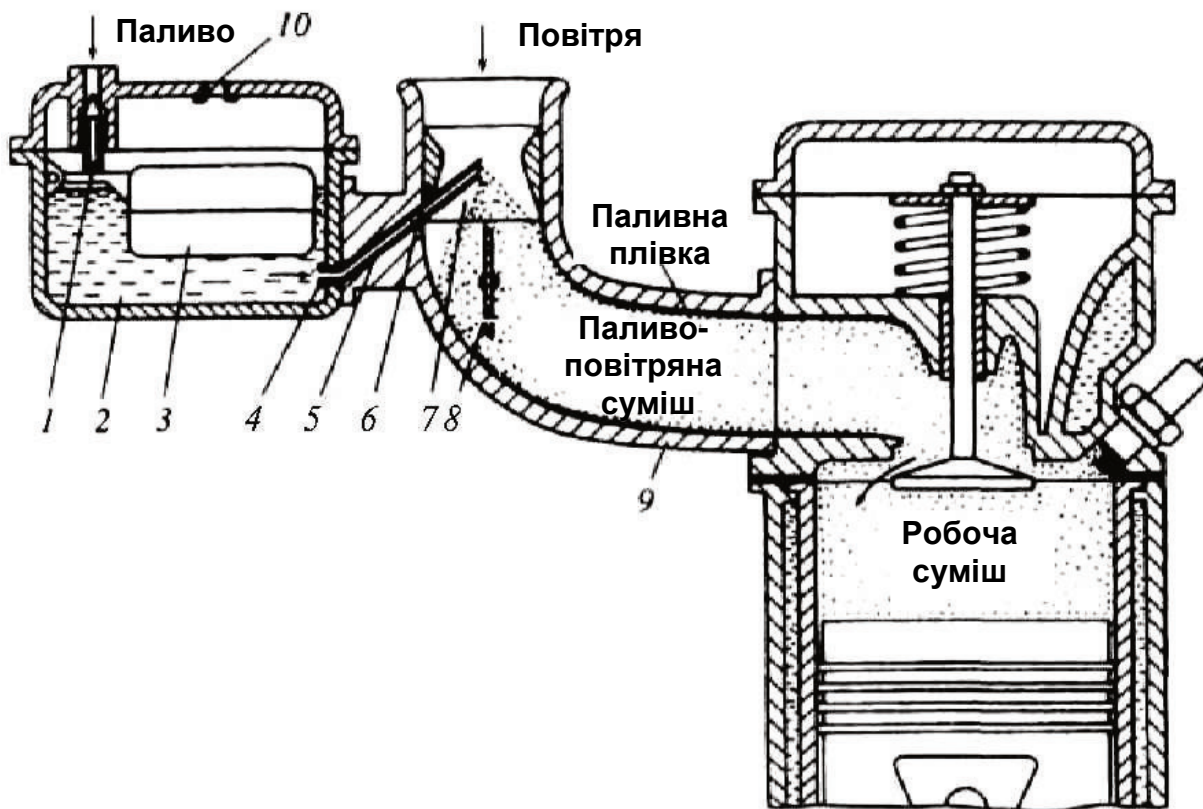
### КАРБЮРАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ БЕНЗИНІВ

Бензин, що подається в систему живлення двигуна з іскровим запалюванням, утворює з повітрям паливоповітряну суміш. Цей процес називається *карбюрація*. Для повного згоряння необхідно забезпечити однорідність суміші з певним співвідношенням парів бензину та повітря, склад робочої суміші визначається дозуючим пристроєм карбюратора. Утворення робочої суміші відбувається спочатку в камері змішувача карбюратора і закінчується в циліндрах двигуна. Процес сумішоутворення триває лише 0,01...0,02 с.

На рисунку 2.1 показано схему найпростішого карбюратора. Бензин паливним насосом подається в поплавкову камеру - 2, повітряна порожнина якої з'єднана з атмосферою через отвір 10. Постійний рівень в камері поплавця підтримується за допомогою поплавця - 3 і запірної голки - 1. З поплавкової камери бензин через жиклер - 4 засмоктується в змішувальну камеру за рахунок розрідження, що створюється в дифузори - 6 під час такту впуску. Максимальна витрата палива відбувається при повному відкритті дросельної заслінки - 8. У впускному трубопроводі - 9 бензин розпадається на дрібні краплі, середній діаметр яких становить 0,1-0,2 мм та випаровується. Режим випаровування бензину починається в карбюраторі, триває у впускному трубопроводі і закінчується в циліндрах двигуна. Але частина крапель бензину при виході з дифузора карбюратора осідає на стінках впускного трубопроводу та утворює плівку рідкого палива, що призводить до нерівномірності розподілу суміші по циліндрах.

Процес утворення суміші необхідного складу схематично можна представити наступним чином:

- з поплавкової камери карбюратора паливо внаслідок різниці тисків проходить через жиклери, що дозують його кількість, і витікає з розпилювача, розташованого в змішувальній камері;
- паливо, що витікає, розпорошується на дрібні крапельки в струмені повітря, що засмоктується в циліндри двигуна через змішувальну камеру карбюратора;
- починається випаровування розпорошеного палива, що триває у впускному трубопроводі двигуна; пари палива і повітря при цьому взаємно дифундують, утворюючи паливоповітряну суміш.



1 – голчатий клапан; 2 – поплавкова камера; 3 – поплавок; 4 – жиклер; 5 – розпилювач;  
6 – дифузор; 7 – змішувальна камера; 8 – дросельна заслінка; 9 – впускний трубопровід;  
10 – отвір в поплавковій камері.

Рисунок 2.1 – Схема найпростішого карбюратора

Удосконалення систем зовнішнього сумішоутворення призвело до створення різноманітних конструкцій пристроїв живлення нового типу із упорскуванням бензину через електромагнітні форсунки безпосередньо у впускний патрубок. У таких системах живлення забезпечується більша порівняно з карбюраторними двигунами рівномірність розподілу паливної суміші по циліндрах, зменшується опір на впуску та покращується наповнення циліндрів, досягається більш гнучка корекція складу суміші при зміні режиму роботи двигуна, створюються передумови для оптимального керування двигуном на всіх режимах із застосуванням мікропроцесорної техніки. Завдяки цьому поліпшуються показники паливної економічності на 12-18% в порівнянні з традиційними карбюраторними системами. Крім того, спостерігається різке зниження вмісту низки шкідливих речовин у відпрацьованих газах. В результаті системи живлення з упорскуванням бензину отримує все більше застосування, незважаючи на більш високу вартість та складність експлуатації.

На процес утворення робочої суміші необхідного складу мають найбільший вплив такі фізико-хімічні показники палива: **щільність, в'язкість, фракційний склад, тиск насичених парів.**

**Щільність палива.** Під щільністю, як відомо, розуміють масу речовини, віднесеної до одиниці його обсягу. У системі СІ щільність вимірюється в  $\text{кг}/\text{м}^3$ , проте на практиці досі застосовують і інші одиниці –  $\text{г}/\text{см}^3$ ,  $\text{кг}/\text{л}$ . Щільність бензину (як і його в'язкість) впливає на витрату палива через калібровані отвори жиклерів карбюрато-

ра. Рівень бензину в камері поплавця залежить від щільності. Тому величина щільності для автомобільних бензинів при температурі +20°C повинна перебувати в межах 690-780 кг/м<sup>3</sup>. Застосування бензину зі значно зниженою щільністю може призвести до підвищення його рівня в камері поплавця карбюратора і мимовільному витіканню палива з розпилювача.

Оскільки палива з однаковою щільністю, але різного походження та хімічного складу мають різні властивості, щільність як така не характеризує їх властивостей.

Щільність палива визначають ареометром, гідростатичними вагами та пікнометром. Через простоту і швидкість визначення щільності ареометром цей метод застосовують найчастіше, хоча і менш точний проти двох інших.

Знаючи температуру, за якої була визначена щільність, можна привести її до стандартної температури (+20°C) за формулою:

$$\rho_{20} = \rho_t + \gamma(t - 20).$$

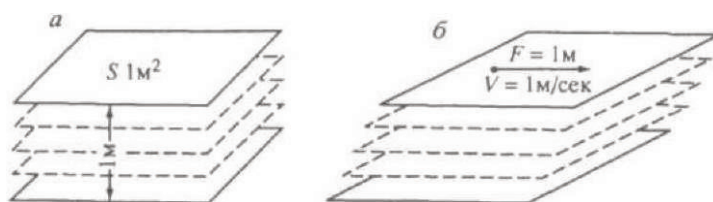
де  $\rho$  – щільність випробуваного продукту за температури випробувань, кг/м<sup>3</sup>;  $t$  – температура випробування, °C;  $\gamma$  – температурна поправка щільності (визначається за розрахунковою таблицею, змінюється в межах 0,515-0,910 кг/м<sup>3</sup>).

**Щільність бензину з пониженням температури на кожні 10°C зростає приблизно на 1%.**

**В'язкість** (внутрішнє тертя) – властивість рідин, що характеризує опір дії зовнішніх сил, що викликають їх перебіг. В'язкість палива залежить від температури, хімічного складу та структури вуглеводнів.

Величина в'язкості може бути виражена в абсолютних одиницях динамічної та кінематичної в'язкості або умовних одиницях. У системі СІ за одиницю динамічної в'язкості ( $\eta$ ) прийнята в'язкість такої рідини, яка чинить опір силою в 1 Н взаємному зсуву двох шарів рідини площею 1 м<sup>2</sup>, що знаходяться на відстані 1 м один від одного і переміщуються з відносною швидкістю 1 м/с (рис. 2.2).

Динамічну в'язкість визначають у капілярному віскозиметрі або в ротаційному віскозиметрі РВ-7. При визначенні динамічної в'язкості у капілярному віскозиметрі вимірюють час закінчення витікання рідини через капіляр віскозиметра під дією певного тиску (не нижче 13,3 кПа). Динамічну в'язкість розраховують за такою формулою:  $\eta = \nu \cdot \rho$



а) початкове положення, б) момент зміщення

Рисунок 2.2 – Схема визначення одиниці динамічної в'язкості.

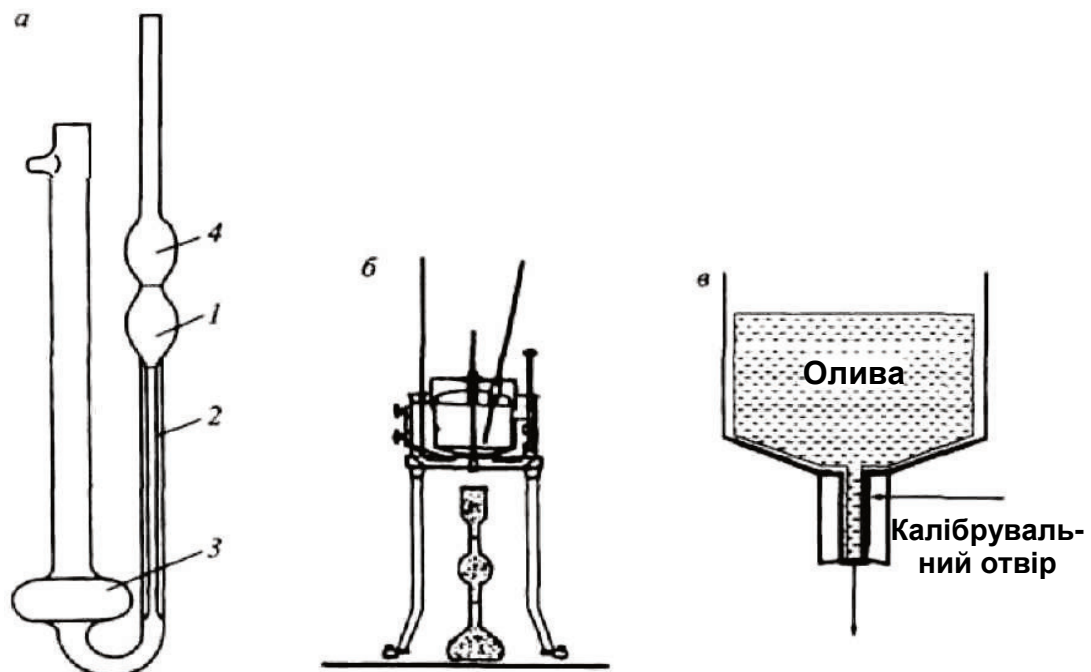
**Кінематична в'язкість** – це динамічна в'язкість, розділена на щільність рідини, визначеної при тій же температурі, при якій визначалася в'язкість. Знаючи величину динамічної в'язкості, кінематична в'язкість визначається за формулою:

$$V_t = \frac{\eta_t}{\rho_t}$$

де  $V_t$  – кінематична в'язкість;  $\eta_t$  – динамічна в'язкість;  $\rho_t$  – щільність.

Відповідно до діючої системи вимірювання (СІ) одиницею динамічної в'язкості ( $\eta$ ) є Па • с (паскаль-секунда), а кінематичної ( $\nu$ ) м<sup>2</sup>/с. У старій системі виміру (СГС) за одиницю динамічної в'язкості було прийнято – 1 П (пуаз), а кінематичної – 1 Ст (стокс). Взаємозв'язок між системами СГС та СІ наступна – для динамічної в'язкості 1П (пуаз) = 0,1 Па • с, а сота частина 1 сП (сантипуаз) = 1 мПа • с, для кінематичної в'язкості – 1 Ст (стокс) = 1 СІ м<sup>2</sup> /с = 1 см<sup>2</sup>/с, сота частина стоксу 1 сСт (сантистокс) = 1 мм<sup>2</sup>/с.

Визначення кінематичної в'язкості ґрунтується на вимірі часу перетікання певного об'єму рідини під дією сили тяжіння при заданій температурі. Найбільш поширене визначення кінематичної в'язкості за допомогою капілярних віскозиметрів (рис. 2.3).



а) капілярний віскозиметр Пинкевича (1, 3, 4 - розширювальні об'єми, 2 - капіляр); б) віскозиметр для визначення умовної в'язкості (віскозиметр Енглера); в) схема витікання нафтопродукту через калібрувальний отвір.

Рисунок 2.3 – Віскозиметри різних видів

Цей метод заснований на тому, що в'язкість рідин прямо пропорційна часу протікання однакових кількостей через один і той же капіляр, що забезпечує ламінарність потоку. Віскозиметр калібрують за допомогою рідин, в'язкість яких точно відома. Для підтримки температури, при якій проводиться визначення в'язкості, віскозиметр поміщають у термостат або у водяну баню. Визначають час закінчення витікання нафтопродукту через калібрувальний отвір. Знаючи цей час, кінематичну в'язкість розраховують за формулою:

$$\nu_t = C \cdot \tau$$

де  $C$  – постійна віскозиметра,  $\text{мм}^2/\text{с}$ ;  $\tau$  – час перетікання нафтопродукту через капіляр, с.

Іноді визначають умовну в'язкість.

**Умовною в'язкістю** називається в'язкість, виражена в умовних одиницях, одержуваних у різних віскозиметрах. Прийнято висловлювати умовну в'язкість у градусах ВУ (в'язкість умовна), які відповідають градусам Енглера.

Для переведення одиниць кінематичної та динамічної в'язкості в умовні одиниці користуються таблицями чи формулами перерахунку (див. ДСТУ ГОСТ 33-82). Перерахунок умовної в'язкості ( $^{\circ}\text{ВУ}$ ) або градусів Енглера ( $^{\circ}\text{ЕГ}$ ) у кінематичну проводиться за такою формулою:

$$\nu_t = 0,07319 \cdot \text{ВУ}_t \frac{0,631}{\text{ВУ}_t}$$

В'язкість автомобільних бензинів при температурі  $+20^{\circ}\text{C}$  може перебувати в межах від 0,5 до 0,7  $\text{мм}^2/\text{с}$ .

При зміні температури бензину змінюється його щільність та в'язкість.

При зниженні температури бензину зростає його щільність, що призводить до збільшення витрати палива. Зниження температури одночасно викликає збільшення в'язкості бензину, що призводить до зменшення його витрати.

Найбільший вплив на зниження витрати в сумарному ефекті зміни в'язкості та щільності бензину має в'язкість. В'язкість робить також превалюючий вплив на вагову кількість палива, що протікає через калібрований отвір в одиницю часу. Витрата бензину через калібрований отвір за зміни температури від  $40$  до  $-40^{\circ}\text{C}$  знижується на 20-30%.

**Поверхневий натяг.** На ступінь розпилювання бензину впливає, в першу чергу, крім в'язкості, поверхневий натяг: чим менше їх величини, тим менших розмірів виходять краплі. Величина поверхневого натягу характеризується роботою, необхідною для утворення  $1 \text{ м}^2$  поверхні рідини (тобто для переміщення молекул рідини з її обсягу поверхневий шар площею в  $1 \text{ м}^2$ ) і виражається в Н/м.

**Випаровування палива.** Під випаровуваністю палива розуміють його здатність переходити з рідкого стану в газоподібний.

Автомобільні бензини повинні мати таку випаровуваність, щоб забезпечувалися легкий пуск двигуна, його швидке прогрівання і повне згоряння бензину після цього, а також виключалося утворення парових пробок в паливній системі.

Швидкість і повнота переходу палива з рідкого в газоподібний стан за даних умов визначаються його хімічним складом і залежать від зовнішніх умов (температури, швидкості руху потоку газів та ін). Так як у різних двигунах ці умови неоднакові, вимоги до випаровування палива пов'язані з конструкцією двигуна, для якого воно призначається. Згорянню завжди передують випаровування рідкого палива і перемішування його пари з повітрям з утворенням горючої суміші. При поганій випаровуваності частина палива не перетворюється на газоподібний стан і згоряє.

Розрізняють статичне (з нерухою поверхні в нерухоме повітря) та динамічне (паливо та повітря рухаються відносно один одного) випаровування палив.

Статичне випаровування проявляється насамперед при зберіганні нафтопродуктів в резервуарах, причому з тим більшою швидкістю, чим менший зовнішній тиск, вища температура нафтопродукту і навколишнього середовища, тиск насичених пар, коефіцієнти дифузії, теплопровідності та теплоємності, теплота випаровування і більше розміри резервуара. На швидкість динамічного випаровування (воно найбільш яскраво виражено при підготовці палив до згоряння в двигунах) впливають ті ж фактори, що і при статичному, проте більшою мірою впливає фактор руху середовищ відносно один одного та ступінь розпилювання палива.

Про випаровування палив можна судити (щоправда, приблизно) по величині щільності і температурі кипіння вуглеводнів. Практично випаровуваність палив для двигунів оцінюють, визначаючи їх фракційний склад (для бензинів вимірюють ще й тиск насичених парів).

**Фракційним складом** нафтопродуктів називають вміст у них тих чи інших фракцій, виражений в об'ємних чи масових відсотках, що визначається для бензинів і дизельних палив на стандартному апараті для розгонки нафтопродуктів. Бензин, являючи собою суміш вуглеводнів, немає фіксованої температури кипіння: він випаровується в інтервалі температури 35-215°C.

При визначенні фракційного складу бензин (100 мл) нагрівають у спеціальному приладі, а пари, що утворюються, охолоджують. Конденсуючись, вони перетворюються на рідину, яку збирають у мірний циліндр. Фіксують температури початку кипіння – падіння першої краплі в циліндр, википання 10, 50, 90% палива та кінця кипіння.

Характерні температурні точки розгонки палива наводять у стандартах та паспортах якості, за цими точками оцінюють, зокрема, експлуатаційні якості бензинів.

**Легкі фракції** бензину, що характеризуються інтервалом по кривій (рис. 2.4) від початку кипіння до википання 10%, визначають пускові властивості палива: **чим нижча температура википання 10% палива, тим вони кращі**. Для запуску холодного двигуна необхідно, щоб 10% бензину википали за температури не вище 55°C (зимовий сорт). За температурою википання 10% можна приблизно визначити мінімальну температуру навколишнього повітря, за якої можливий пуск двигуна, за формулою:

$$t_B \geq 0,5 \cdot t_{10\%} - 50,5.$$

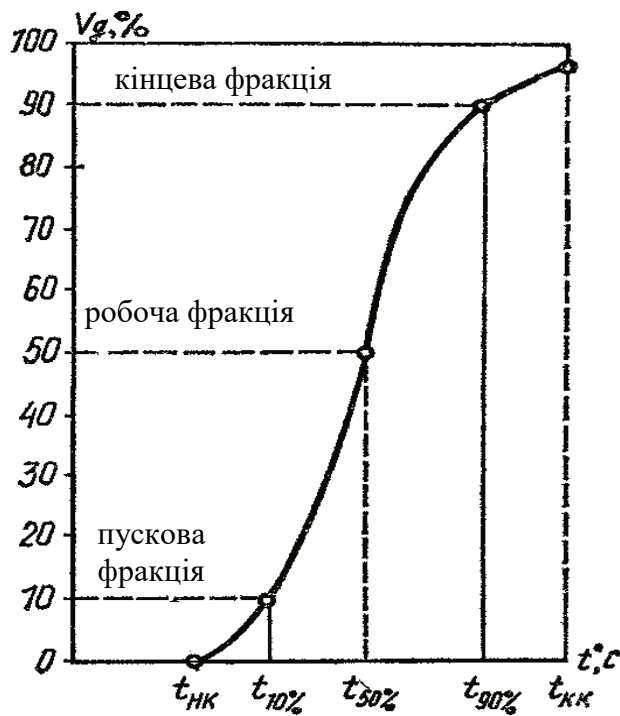


Рисунок 2.4 – Фракційний склад бензину

Якщо температура навколишнього повітря нижче мінус 25-30 °С, то пуск холодного двигуна без попереднього підігріву або використання спеціальних пускових рідин утруднений. При використанні зимового виду бензину в літній період легкі фракції починають інтенсивно випаровуватися в паливному баку і бензопроводах, знижується коефіцієнт наповнення циліндрів, падає потужність, двигун перегрівається, а в системі палива утворюються парові пробки, виникають перебої в роботі, двигун глухне. Тому кількість легкокиплячих вуглеводнів у бензині літнього гатунку обмежують.

**Якість горючої суміші** при різних режимах роботи двигуна, **тривалість прогріву** (переходу з холостого ходу на робочий режим), **прийомистість** (можливість швидкого переходу з одного режиму на інший) **залежать від випаровування робочої фракції** (по кривій розгонки від 10 до 90%), яка по стандарту нормується 50% крапкою. **Чим нижча** температура цієї точки, тим **однорідніший склад** робочої суміші по окремих циліндрах, **тим стійкіше** працює двигун, покращується його прийомистість.

**Температуру википання 90% палива**, що характеризує його схильність до конденсації, зазвичай називають точкою роси. Схильність палива до конденсації тим менше, чим менший інтервал температур від 90% до остаточного кипіння, коли випаровуються важкі вуглеводні. Оскільки важкі вуглеводні випаровуються не повністю, то, залишаючись у крапельно-рідкому стані, вони можуть проникати через зазори між циліндром і поршневіми кільцями в картер двигуна, що призводить до змивання мастильної плівки, збільшення зносу деталей, розрідження оливи, збільшення витрати палива. Тому вважають, що чим менше інтервал температури від 90% до кінця кипіння і, отже, схильність палива до конденсації, тим вища його якість, краще економічність і нижче темп зношування деталей двигуна.

**Тиск насичених парів.** Наявність у паливі найлегших фракцій, що впливають на запуск двигуна та утворення парових пробок у системі палива, визначають додатково за показником "**тиск насичених парів**". Чим вищий цей показник, тим швидше і повніше випаровується бензин і тим легше запуск двигуна (рис. 2.5). Тому для зимових видів бензинів він має бути вищим ніж для літніх.

Під **тиском насичених парів** рідкого палива мають на увазі тиск парів, що знаходяться в стані рівноваги з рідиною при даній температурі та певному співвідношенні обсягів рідкої та парової фаз. Чим більше легких фракцій у бензині, тим вищий тиск насичених парів.

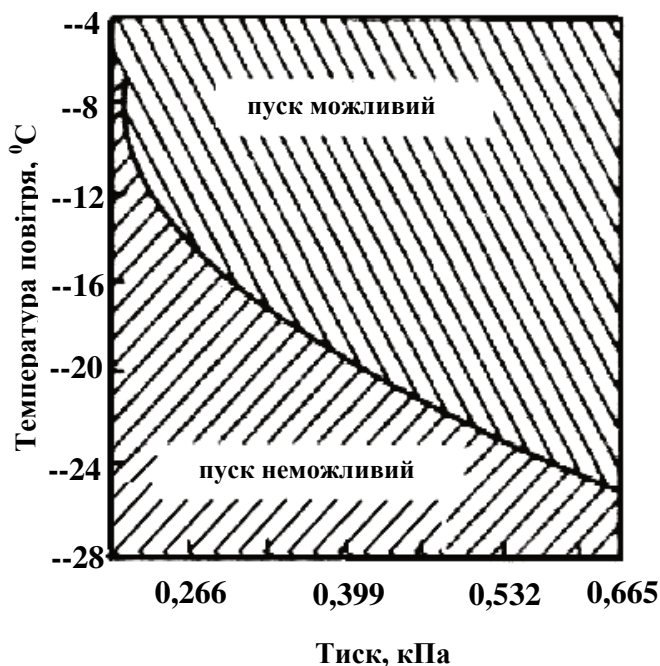


Рисунок 2.5 – Вплив тиску насичених парів бензину на мінімальну температуру пуску двигуна

Від тиску насичених парів залежать схильність бензину до утворення парових пробок, можливі втрати його при зберіганні, транспортуванні та заправці автомобіля, легкість пуску двигуна. Чим більше в бензині вуглеводнів з низькою температурою кипіння, тим вища його випаровуваність і тиск насичених парів, а отже, і схильність до утворення парових пробок.

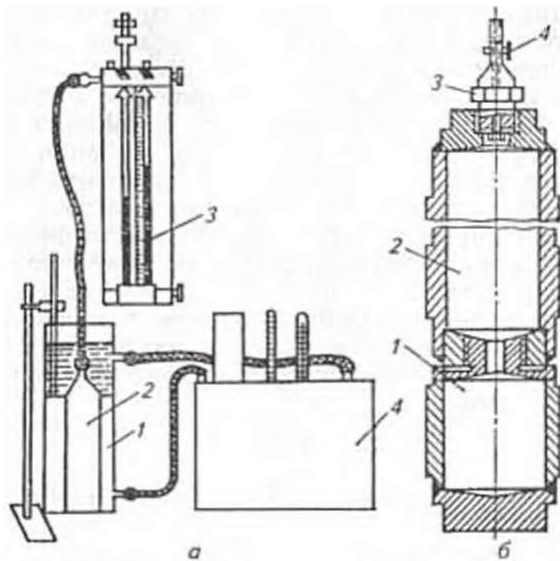
Чим вищий тиск парів при випаровуванні палива в замкнутому просторі, тим інтенсивніший процес їх конденсації. Тиск парів бензину, що випаровується, на стінки ємності називають **пружністю парів**, яка залежить від хімічного і фракційного складу бензину. Пружність (тиск) парів зростає у разі підвищення температури. Вона тим вища, що більше міститься у паливі легкокиплячих вуглеводнів.

Стандартом обмежується верхня межа тиску парів до 670 Па влітку і від 670 до 930 Па взимку, так як бензини з високою пружністю парів схильні до підвищеного утворення парових пробок в системі палива; їх використання спричиняє зниження наповнення циліндрів, падіння потужності.

Обмеження тиску насиченої пари обумовлено збільшенням ймовірності утворення парових пробок у системі живлення двигуна, особливо в літній період експлуатації.

Тиск насичених парів визначають за методом Рейду (ISO 3007-99). Сутність методу полягає у вимірюванні тиску насичених парів палива у двокамерній бомбі при температурі 37,8°C. Схема приладу показана на рисунку 2.6, а. Металева бомба складається з паливної камери 1 (рис. 2.6, б) з одним отвором і повітряної камери 2, які з'єднуються за допомогою різьблення. Відношення обсягів повітряної та паливної камер становить 3,95:4,05. У верхній частині повітряної камери знаходиться ніпель 3 з газовим краном 4 і наконечником гумової трубки.

Тиск вимірюють ртутним чи пружинним манометром. Ртутний манометр 3 (рис. 2.6, а) являє собою U-подібну скляну трубку, наповнену ртуттю. На один кінець манометра надягають гумову трубку, яку потім з'єднують із повітряною камерою бомби.



а - схема приладу: 1 - водяна баня; 2 - бомба; 3 - ртутний манометр; 4 - термостат;  
б - пристрій бомби: 1 і 2 - паливна та повітряна камери. 3 - ніпель; 4 - газовий кран.

Рисунок 2.6 – Прилад для визначення тиску насичених парів стандартним методом

При проведенні випробувань зібраний апарат перекидають. При цьому бензин, що знаходиться в паливній камері, стікає в повітряну камеру. Потім апарат сильно струшують кілька разів у напрямку, паралельному осі. Далі апарат повертають у нормальне положення та занурюють у водяну баню, кран при цьому повинен також перебувати у воді. Температуру лазні підтримують 37,8 °С. Апарат витримують у лазні протягом 5 хв. Потім його виймають із лазні, перевертають, сильно струшують уздовж осі і ставлять назад у лазню. Операцію вилучення та струшування повторюють після 5 хв витримки, потім знову ставлять апарат у лазню. Через 2 хв відкривають газовий кран і реєструють показання манометра. Випробування продовжують доти, доки два послідовні показання не стануть однаковими. Тривалість випробування зазвичай становить 20...30 хв. Кінцеве показання манометра знімають із точністю до 1 кПа.

При підрахунку тиску насичених парів бензину до показань манометра вносять поправку на зміну тиску повітря та насичених парів води в повітряній камері, викликане різницею між вихідною температурою повітря та температурою водяної лазні.

## 2.5 НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНІ ВЛАСТИВОСТІ БЕНЗИНІВ

Низькотемпературні властивості бензинів зумовлюють їх можливості щодо забезпечення працездатності паливної системи при негативних температурах.

При низьких температурах може статися припинення подачі бензину в двигун внаслідок випадання кристалів льоду або утворення крижаних відкладень на деталях паливної системи. Оскільки переважна більшість вуглеводнів, що входять до складу бензинів, застигає за дуже низьких температур, а температура застигання автомобільних бензинів зазвичай нижча за мінус 60 °С, цей показник для них не регламентується. Найбільші ускладнення при експлуатації двигунів в умовах низьких температур пов'язані з утворенням в бензинах кристалів льоду. У бензинах у розчиненому стані може міститися лише кілька сотих відсотка води. Встановлено, що зі зниженням температури розчинність води у бензинах зменшується. При підвищеній вологості повітря та позитивних температурах вміст води навіть у зневодненому бензині майже миттєво різко збільшується. При швидкому охолодженні бензину зайва волога, що не встигла перейти в повітря, виділяється у вигляді дрібних крапель, які при негативних температурах перетворюються на кристали льоду. Забиваючи фільтри, кристали порушують подачу бензину у двигун.

Чим більше в бензинах ароматичних вуглеводнів, тим вища розчинність води. Найбільш гігроскопічний бензол. Тому з точки зору зниження небезпеки утворення кристалів льоду при охолодженні бензинів вміст ароматичних вуглеводнів у них, і зокрема бензолу, має бути обмеженим.

Для запобігання утворенню кристалів льоду в бензини додають присадки.

Вода може бути в бензині і у вигляді другої фази: її необхідно відокремлювати від бензину і зливати.

## 2.6 НОРМАЛЬНЕ ТА ДЕТОНАЦІЙНЕ ЗГОРЯННЯ

Підвищення потужності та економічності бензинових двигунів можливо насамперед за рахунок збільшення ступеня стиснення. Ця тенденція дозволяє в повній мірі вдосконалювати конструкції двигунів. У той же час вона пред'являє більш жорсткі вимоги до детонаційної стійкості бензинів: чим вища детонаційна стійкість, тим економічніша та ефективніша робота двигуна.

При згорянні палива в двигуні відбувається перетворення його хімічної енергії на теплову і далі на механічну. Характер протікання процесу згоряння обумовлює як потужність та економічні показники двигуна, так і його надійність та довговічність.

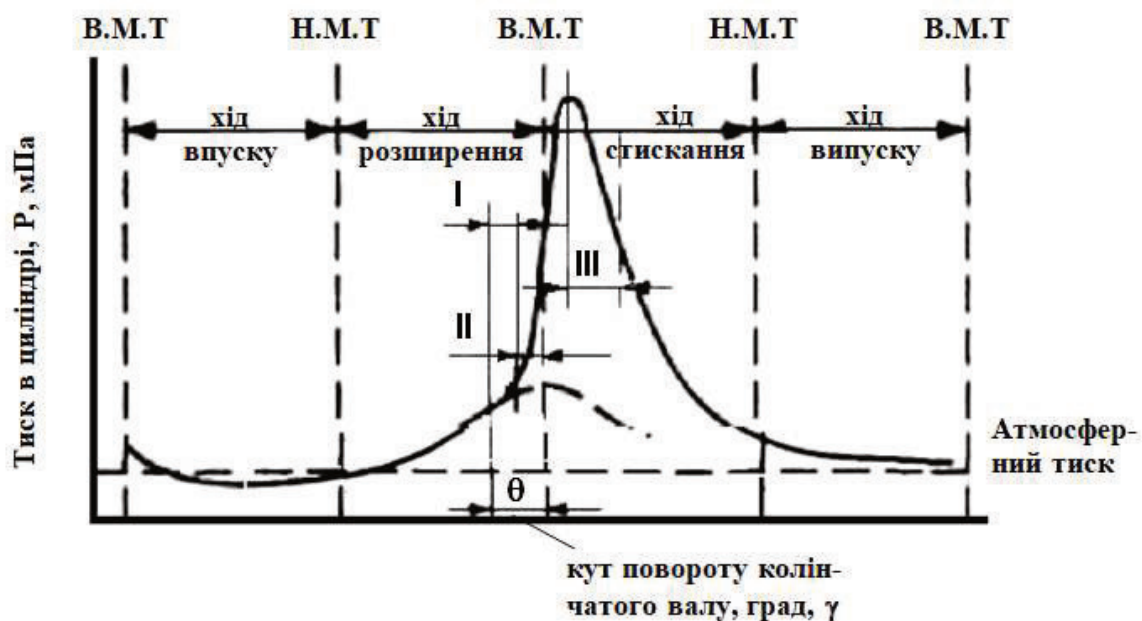
**Вид згоряння в двигуні** можна поділити на **нормальне** та **аномальне**.

При нормальному робочому процесі в двигуні з іскровим запалюванням згоряння суміші можна умовно розділити на три фази (рис. 2.7): I – початкову, протягом якої невелике вогнище горіння, що виникає між електродами свічки, поступово перетворюється на розвинений фронт турбулентного полум'я; II – основну фазу поширення полум'я; III – фази догоряння суміші.

Провести різку грань між окремими фазами згоряння неможливо, оскільки зміна характеру процесу відбувається поступово.

**Перша фаза** – період прихованого згоряння чи період затримання займання (12-15% від загального часу згоряння палива) характеризується інтенсивнішою підготовкою робочої суміші до згоряння, ніж у період стискування. У цій фазі згоряння

інтенсифікуються окислювальні процеси (насамперед за рахунок підігріву суміші від електричної іскри відбувається низькотемпературне горіння палива), а підвищення тиску практично не відрізняється від підвищення тиску, що викликається стисненням без горіння.



*I, II, III - тривалість відповідно початкової, основної та завершальної фаз горіння в градусах повороту колінчатого валу (°ПКВ);  $\theta$  - кут випередження запалювання*

Рисунок 2.7 – Індикаторна діаграма процесу згоряння в двигуні запалюванням від іскри

**Друга фаза** – безпосереднє згоряння (супроводжується швидшим, ніж при чистому стисканні, підвищенням тиску) триває до максимального підйому тиску і зазвичай закінчується через кілька градусів після верхньої мертвої точки (в.м.т.). Згоряння відбувається інтенсивніше при вищій температурі робочої суміші на момент подачі іскри. Швидкість згоряння підпорядковується закону чинних мас:

$$v = kC_1C_2C_3,$$

де  $v$  – швидкість реакції;  $C_1, C_2, C_3$  – концентрація діючих речовин;  $k$  – постійна, що залежить від природи реагуючих речовин.

Оскільки швидкість згоряння пропорційна добутку концентрацій реагуючих речовин, то в міру згоряння, коли їх концентрація знижується, швидкість згоряння зменшується.

Хімічний склад і кількість палива, його співвідношення з повітрям, величина залишкових газів у циліндрі, температура і тиск суміші, конструкція камери згоряння та ряд інших факторів істотно впливають на швидкість згоряння. Найбільш інтенсивно процес згоряння протікає при  $\alpha=0,95$ , що характерно для невеликого збагачення горючої суміші. Подальше збагачення палива призводить до збільшення неповноти

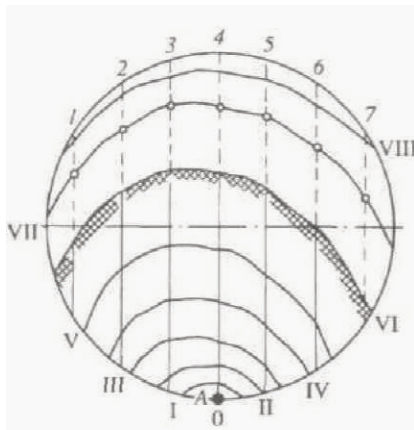
його згоряння, а збіднення – витрати тепла на нагрівання надлишкового азоту. В обох випадках знижується швидкість згоряння. При підвищенні ступеня стиснення двигуна процес згоряння інтенсифікується (підвищуються температура та тиск суміші).

**Нормальний перебіг** процесу ілюструє схема згоряння робочої суміші та поширення фронту полум'я, що показана на рис. 2.8.

Видно, що швидкість згоряння приблизно постійна весь період, тиск в циліндрі двигуна від продуктів згоряння, що розширюються, зростає плавно і досягає максимального значення поблизу *в.м.т.*, поршень рухається вниз (до *н.м.т.*), і займаний продуктами згоряння обсяг збільшується. Усе це характеризує нормальну роботу двигуна.

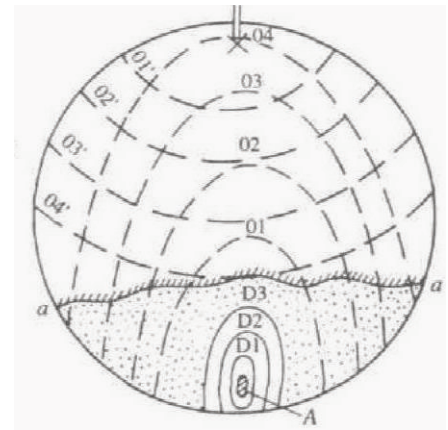
При нормальному згорянні процес проходить плавно з майже повним перебігом реакцій окислення палива та середньою швидкістю розповсюдження полум'я 10-60 м/с.

**Основними порушеннями нормального згоряння** в двигуні із запалюванням від іскри є: **детонація, передчасне та подальше займання (гартальне запалювання), запалювання від стиснення при вимкненому запалюванні.**



*A - іскра*

Рисунок 2.8 – Схема розповсюдження фронту полум'я по камері згоряння



*A – вогнище самозаймання (детонації); D1-D3 – миттєві положення розповсюдження зони горіння від вогнища A; 01-04 – ударні хвилі; 01'-04' – відбиті хвилі; a-a - положення фронту полум'я.*

Рисунок 2.9 – Фізична картина детонаційного згоряння в двигуні

**Детонація** виникає при самозайманні частини паливно-повітряної суміші, до якої полум'я від свічки доходить в останню чергу. Зовнішньо детонація проявляється у виникненні дзвінких металевих стуків при роботі двигуна на великих навантаженнях. Швидкість поширення полум'я різко зростає (майже в 100 разів) і досягає 1500-2500 м/с, виникає детонаційне згоряння, що характеризується нерівномірним перебігом процесу, стрибкоподібною зміною швидкості руху полум'я і виникненням ударної хвилі (рис. 2.9).

Реакції окислення проходять не повністю і у відпрацьованих газах, виявляються продукти неповного згоряння палива. Детонація призводить до втрати потужності двигуна через неповноту згоряння (рис. 2.10).

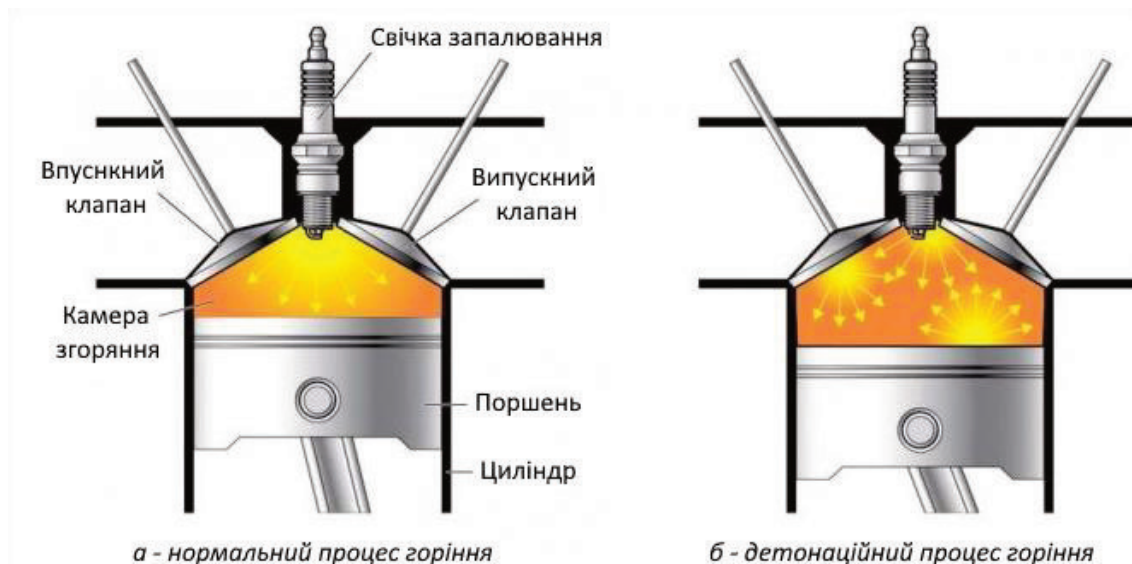


Рисунок 2.10 – Процес горіння паливоповітряної суміші в камері згоряння

При цьому різко підвищується температура головок циліндра і охолоджуючої рідини, а у відпрацьованих газах з'являється димлення. Довготривала робота з детонацією призводить до перегріву двигуна, внаслідок чого може виникнути передчасне самозаймання робочої суміші, а також механічні пошкодження окремих деталей двигуна (рис. 2.11).

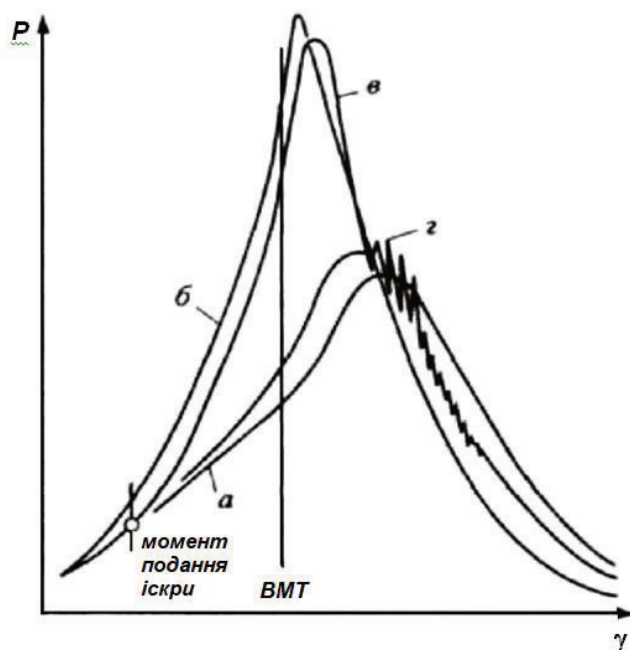


Рисунок 2.11 – Деталі двигуна зруйновані детонацією

Прогар поршнів і клапанів, пригорання поршневих кілець, порушення ізоляції свічок, розтріскування вкладишів шатунних підшипників – все це може бути викликано детонацією. Відповідно до перекисної теорії (вона нині загальноновизнана), при детонації утворюються первинні продукти окислення палива – органічні перекиси.

При приєднанні молекули кисню до вуглеводнів С-С зв'язку утворюється перекис (R-O-O-R), С-Н зв'язку – гідроперекис (R-O-O-H).

Перекиси, що утворюються в процесі попереднього окислення, накопичуються в незгорілій частині робочої суміші, розпадаються (по досягненні критичної концентрації) з вибухом і виділенням великої кількості тепла. Тим самим активізується вся суміш. Такий момент супроводжуватиметься вибуховим згорянням суміші, тобто детонацією. На рисунку 2.12 представлена індикаторна діаграма, знята під час роботи двигуна з детонацією.



*a* - нормальне згоряння; *б, в* - гартальне запалювання; *г* - детонаційне згоряння;  
 $P$  - тиск;  $\gamma$  - кут повороту колінчастого валу.

Рисунок 2.12 – Індикаторна діаграма основних видів згоряння в двигуні

Для виникнення детонаційної хвилі (детонаційного вогнища) найбільш сприятливе місце – частина бензиноповітряної суміші, яка знаходиться у віддалених частинах камери згоряння.

Від вогнища детонації горіння швидко поширюється, по всій частині паливно-повітряної суміші та охоплює її.

Механізм поширення хвилі згоряння від детонаційного вогнища відмінний від механізму нормального горіння. **Фронт полум'я в детонаційній хвилі поширюється не шляхом теплопередачі, а за рахунок миттєвого виділення великої кількості хімічної енергії в малому обсязі.** Це викликає різке місцеве підвищення тиску, у результаті утворюється ударна хвиля. Остання, проходячи зі швидкістю до 2500 м/с по решті незгорілої частини суміші, викликає її стиск, нагрівання і займання. Детонаційна хвиля багаторазово відбивається від стінок циліндра, у своїй виникає характерний металевий стукіт.

Розрізняють такі **групи факторів**, що впливають на виникнення та інтенсивність детонації: залежні від конструкції двигуна, експлуатаційні та пов'язані з властивостями палива.

**Конструктивними факторами**, що впливають на процес горіння, є ступінь стиснення, форма і розміри камери згоряння, кількість і розташування свічок, діаметр циліндра, хід поршня, матеріал головки блоку циліндра двигуна.

**Експлуатаційними чинниками**, що впливають на виникнення детонації, є коефіцієнт надлишку повітря, кількість обертів двигуна, кут випередження запалювання, температура охолоджуючої рідини, вологість повітря, шар нагару в камері згоряння та інших.

**Фактором, пов'язаним із властивостями палива**, є його детонаційна стійкість. Причому при випаровуванні палива в процесі сумішоутворення (внаслідок різної детонаційної стійкості окремих фракцій) детонація також може посилитися. Де-

тонаційна стійкість бензинів залежить від його вуглеводневого складу. Ароматичні вуглеводні мають найбільшу детонаційну стійкість, меншу детонаційну стійкість мають ізопарафінові і олефінові і найнижчу – парафінові вуглеводні.

Коли детонує близько 5% суміші, з'являються зовнішні ознаки детонації. Якщо детонує 10-12% суміші, спостерігається детонація середньої інтенсивності. Дуже сильна детонація характерна для 18-20% суміші, що детонує. Детонаційне згоряння палива відрізняється характерним різким металевим стуком в циліндрах, перегріванням головок циліндрів і падінням його потужності, що періодично з'являється чорним димом відпрацьованих газів. Детонація призводить до прогоряння поршнів, випускних клапанів, перегріву двигуна.

Одним з найпоширеніших видів аномального згоряння є *гартальне запалювання*.

*Під гартальним запалюванням* розуміють некероване займання робочої суміші від розпеченого тіла: тліючого нагару або перегрітих деталей.

Особливість запалювання тліючим нагаром – його взаємозв'язок з детонацією: при виникненні детонаційних хвиль нагар зі стінок камери згоряння частково видаляється, усуваючи цим гартальне запалювання, тому що зникають гарячі точки – причина мимовільного займання робочої суміші. Так як швидкість згоряння суміші при цьому збільшується, детонація припиняється, проте після викиду частинок нагару вона знову відновлюється.

При гартальному запалюванні перегрітими деталями (центральні електроди, "спіднички" ізоляторів свічок, рідше випускні клапани) займання не припиняється в міру його вигорання, а прогресивно самопідсилюється.

Для оцінки схильності свічки до перегріву користуються показником, що називається гартальним числом (ГЧ). Його величину для даного двигуна підбирають так, щоб, з одного боку, виключити можливість гартального запалювання на теплонапружених режимах (у цьому випадку необхідно низьке ГЧ), а з іншого боку, забезпечити на мінімальних режимах температуру краю "спіднички" і центрального ізолятора не нижче 397 °С, щоб уникнути їх закоксування (для цього необхідно досить високе ГЧ). Активність нагару з погляду гартального запалювання залежить від вмісту в бензинах ароматичних вуглеводнів та зольних присадок. Так як високомолекулярні ароматичні вуглеводні утворюють активний нагар, схильний до саморозігріву (присутність у нагарі продуктів згоряння тетраетилсвинцю (ТЕС) знижує температуру займання нагарів з 550-600 до 200-300 °С), особливо важко задовольнити ці вимоги в паливах з високими детонаційними властивостями.

З гартальним запалюванням борються, покращуючи конструкцію камер згоряння і змінюючи властивості нагару, що утворюється, шляхом введення в паливо спеціальних присадок.

## **2.7 ДЕТОНАЦІЙНА СТІЙКІСТЬ БЕНЗИНІВ ТА ЇЇ ОЦІНКА. АНТИДЕТОНАТОРИ**

Одним з основних показників якості автомобільних бензинів є їх детонаційна стійкість, від якої найбільшою мірою залежать надійність, підвищення потужності, економічність та тривалість експлуатації двигуна автомобіля.

Розробка методів оцінки антидетонаційних властивостей бензинів почалася в 1918-1919 рр. майже одночасно з вивченням явища детонації у двигунах, коли Г. Рі-

кардо створив двигун зі змінним ступенем стиснення та запропонував оцінювати паливо значенням ступеня стиснення, при якому двигун розвиває максимальну потужність. Цей показник був названий найвищим корисним ступенем стиснення.

Подальші дослідження показали неспроможність методу, оскільки значення найвищого корисного ступеня стиснення не залишалось постійним під час переходу на інший двигун, але й змінювалося навіть при роботі на одному й тому самому двигуні залежно від умов довкілля.

Пізніше було розроблено метод оцінки детонаційної стійкості палива за допомогою паливних еквівалентів, заснований на порівнянні антидетонаційних якостей випробуваного палива з антидетонаційними властивостями деяких певних видів палива, прийнятих за зразок. Як еталонні види палива вибиралися два: одне з яких детонує слабо, а інше – сильно, з таким розрахунком, що всі види палива, що підлягають випробуванню, за своєю схильністю до детонації перебували між обраними еталонами. За величину, що характеризує антидетонаційні якості палива, було прийнято відсотковий вміст слабодетонуючого палива в еталонній суміші, еквівалентної за детонаційною стійкістю досліджуваного зразка.

**Октанове число (ОЧ)** – показник детонаційної стійкості бензинів.

*Для оцінки детонаційних властивостей бензинів* служать спеціальні одноциліндрові двигуни, ступінь стиснення яких можна змінювати.

Оцінка детонаційної стійкості бензинів проводиться у порівнянні з детонаційною стійкістю еталонних палив. Як еталонні палива використовують індивідуальні вуглеводні – *ізооктан* ( $C_8H_{18}$ ), детонаційна стійкість якого прийнята за 100 одиниць і *нормальний гептан* ( $C_7H_{16}$ ) детонаційна стійкість якого прийнята за 0 одиниць, та їх суміші.

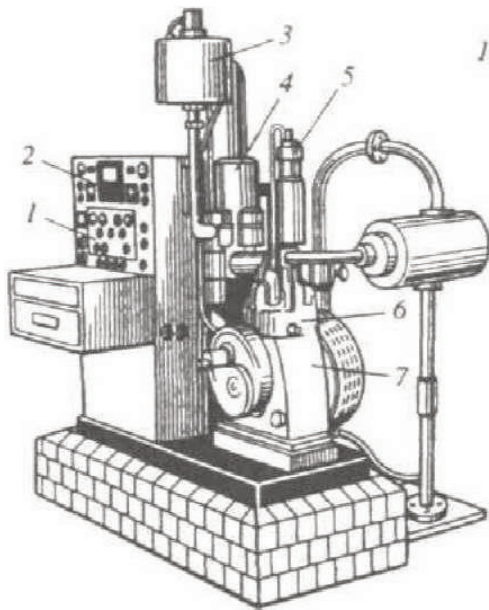
**Октанове число визначається як об'ємна частка (%) ізооктану в суміші з нормальним гептаном, рівноцінною за своєю детонаційною стійкістю випробуваному паливу за стандартних умов випробування.**

Октанове число автомобільних бензинів визначають двома методами – *моторними та дослідницькими*. Установка УІТ-65 дозволяє визначати октанові числа обома методами. Вона обладнана електронним приладом для вимірювання інтенсивності детонації та автоматичними пристроями для підтримання необхідного режиму випробувань (рис. 2.13, 2.14).

Складаючи суміші ізооктану з нормальним гептаном в об'ємних відсотках, можна отримати еталонні суміші з детонаційною стійкістю від 0 до 100 одиниць.

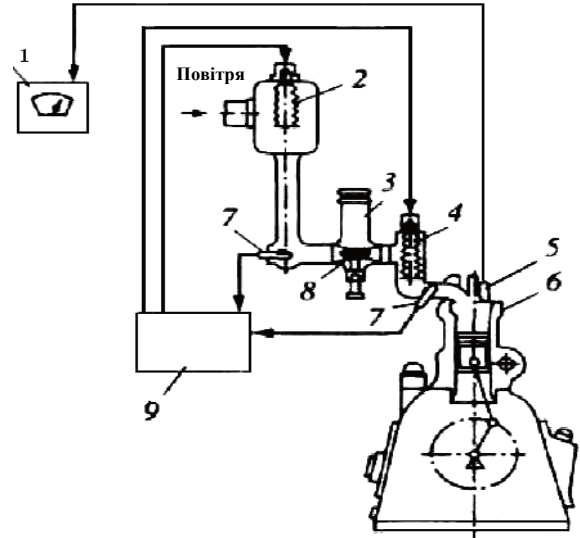
Через труднощі підбору еталонного палива, ідентичного випробуваному, обмежилися підбором двох еталонних сумішей з таким розрахунком, щоб випробуване паливо за своєю стійкістю до детонації лежало між ними. За умови, що детонаційна стійкість підібраних сумішей близька, еквівалентна суміш може бути знайдена розрахунком, виходячи з пропорційності між зміною октанового числа еталонів і показаннями приладу, що реєструє детонацію.

Застосування такої методики викликало необхідність вимірювання інтенсивності детонації. Основна вимога, пред'явлена до способу оцінки інтенсивності детонації при порівнянні палив, полягає у простоті вимірювання та отримання відліку безпосередньо під час випробувань. Як відомо, робота двигуна з детонацією супроводжується появою стукоту, а також різким підвищенням тиску в кінці згоряння. Саме ці явища були використані для вимірювання інтенсивності детонації.



1 - електронний детонометр ДП -60; 2 - вказівник детонації ВД-50; 3 - підігрівач повітря на вході; 4 - карбюратор; 5 - конденсатор термосифонно-випарювальної системи охолодження; 6 - валик приводу механізму для зміни ступеня стиснення (ручка знята); 7 - картер двигуна.

Рисунок 2.13 – Універсальна установка УІТ-65 для визначення ОЧ за моторним та дослідницьким методами



1 - вимірювач детонації; 2 - підігрівач повітря; 3 - бачок для палива; 4 - підігрівач паливної суміші; 5 - датчик детонації; 6 - одноциліндровий двигун; 7 - датчики температури; 8 - пристрій сумішоутворення; 9 - прилад для автоматичного регулювання температури.

Рисунок 2.14 – Схема установки УІТ-65

У марці бензину з ОЧ за дослідницьким методом визначення додається буква І. Наприклад АІ-92 – автомобільний бензин з октановим числом визначеним за дослідницьким методом не менше 92. При визначенні ОЧ бензину за моторним методом буква не ставиться, наприклад – А-92.

Ці методи (дослідницький та моторний) відрізняються режимом роботи одноциліндрової установки, на якій визначається детонаційна стійкість бензинів. Режим установки, при якому визначається октанове число, за моторним методом більш напружений (близький до роботи вантажних автомобілів), ніж дослідницький метод (близький до роботи легкових автомобілів). Октанове число бензину, встановлене за моторним методом, нижче октанового числа, визначеного дослідницьким методом, на 7-8 одиниць.

Умови згоряння паливної суміші в працюючих двигунах істотно відрізняються від режиму оцінки октанових чисел бензинів на установці УІТ-65. Тому вважають, що найбільш об'єктивно детонаційну стійкість характеризує дорожнє октанове число (ДОЧ) – що визначається в дорожніх умовах. Воно у ряді випадків суттєво відрізняється від ОЧ, що визначаються лабораторними методами – моторним (ОЧМ) та дослідницьким (ОЧД). Це зумовлено конструктивними особливостями двигунів (автомобільного та одноциліндрового лабораторного), різними режимами їхньої роботи. Різниця ДОЧ, ОЧМ та ОЧД (дорожня чутливість) може коливатися в широких межах та залежати від компонентного та вуглеводневого складу бензину.

ДОЧ бензинів визначають на спеціально підготовленому автомобілі. Організація таких випробувань складна (ДСТУ ISO 5164:2012 жорстко регламентує дорожні та метеорологічні умови випробування), проведення їх тривале і можливе лише у літній період. Все це потребує великих матеріальних та трудових витрат. Тому такі випробування зазвичай проводять лише при відпрацюванні конструкції автомобільних двигунів нових моделей та доборі компонентного складу бензинів нових марок.

Детонаційна стійкість бензинів залежить від того, на якій суміші працює двигун. Найбільшою детонаційною стійкістю під час роботи на бідних сумішах відрізняються ізомери парафінових вуглеводнів, а на багатих – ароматичні вуглеводні. Найменша детонаційна стійкість характерна для нормальних парафінових вуглеводнів. Середнє становище між ними займають нафтові та ненасичені вуглеводні.

**АНТИДЕТОНАТОРИ.** Октанові числа бензинів можна збільшити, застосовуючи сучасні технологічні процеси; додаючи високооктанові компоненти, а також вводячи антидетонаційні присадки.

**Перший спосіб** – застосування сучасних технологій отримання палив, наприклад, каталітичного крекінгу, риформінгу та ін. Сучасна технологія дає можливість отримати базові бензини з ОЧ 75-80 за моторним методом та 80-94 за дослідним методом.

**Другий спосіб** підвищення ОЧ полягає в додаванні в базові бензини високооктанових компонентів, таких, як ізооктан, алкілбензол та інші, які мають ОЧ за моторним методом близько 100 од. Такі компоненти можуть бути додані до базового бензину до 40%, значно підвищуючи його детонаційну стійкість.

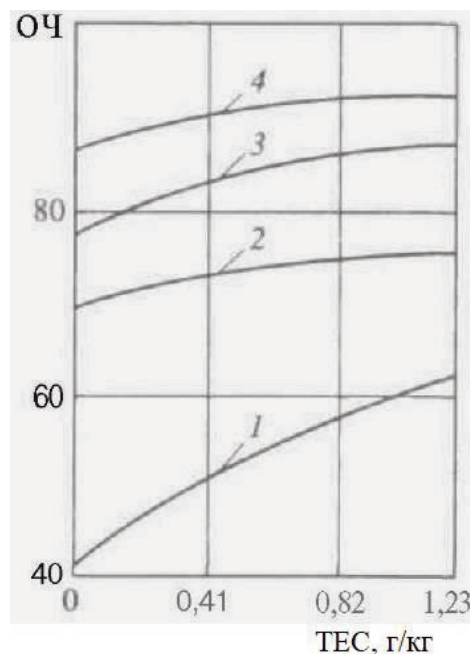
**Третім способом** підвищення детонаційної стійкості бензинів є додавання до них антидетонаційних присадок та октанопідвищуючих добавок.

Починаючи з 1923 р. проблема підвищення детонаційної стійкості (підвищення октанового числа) бензинів у більшості випадків вирішувалася шляхом додавання до них етилової рідини (ЕР), до складу якої входить тетраетилсвинець (ТЕС)  $Pb(C_2H_5)_4$ , що призвело до суперечності з екологічною безпекою довкілля. У деяких країнах широко використовувався також тетраметилсвинець  $Pb(CH_3)_4$ , що має нижчу температуру кипіння ( $100^\circ C$ ) порівняно з ТЕС ( $200^\circ C$ ). Обидва антидетонатори дуже отруйні.

Механізм дії антидетонаторів, зокрема тетраетилсвинцю, найбільш повно пояснюється перекисною теорією детонації та теорією ланцюгових реакцій Н.М. Семенова. Встановлено, що ТЕС діє як антидетонатор тільки за високих температур, коли він починає розпадатися з утворенням атомарного свинцю.

Характерно, що наявність ТЕС стримує утворення у бензині сполук, що містять кисень. Це зменшує ймовірність виникнення детонації. Великі концентрації ТЕС викликають різке зростання отруйності бензину. При цьому надійність роботи двигуна внаслідок накопичення оксидів свинцю в камері згоряння знижується. А детонаційна стійкість підвищується незначно (рис. 2.15).

Раніше як антидетонатор застосовували антидетонатор ТЕС, що представляє собою важку маслянисту безбарвну і дуже отруйну рідину, що легко розчиняється у всіх нафтопродуктах і не розчиняється у воді (щільність  $1652 \text{ кг/м}^3$  температура кипіння  $200^\circ C$ ).



1 - пряма перегонка; 2 - термічний крекінг; 3 - каталітичний крекінг; 4 - риформінг  
 Рисунок 2.15 – Вплив вмісту ТЕС на октанове число бензинів  
 (за моторним методом)

Етильовані бензини дуже токсичні.

Проникаючи в кров людини через пори шкіри, ТЕС має властивість поступово накопичуватися в ній, що призводить до важковиліковних, а іноді і невиліковних захворювань. ТЕС потрапляє в організм також через дихальні шляхи і навіть мінімальні його дози в їжі викликають смертельні отруєння. Робота з етилованим бензином потребує неухильного дотримання правил техніки безпеки.

Етильовані бензини є джерелом свинцевих забруднень навколишнього середовища та перешкодою до використання каталітичних систем нейтралізації відпрацьованих газів на автомобілях, тому що їх каталітична основа швидко отруюється оксидами свинцю.

В Україні виробництво етилованих бензинів заборонено і одним із рішень підвищення антидетонаційних властивостей палив та виконання екологічних вимог є заміна токсичних антидетонаторів на значно менш токсичні антидетонаційні присадки, такі як метилтретбутиловий ефір (МТБЕ) –  $\text{CH}_3\text{OC}_4\text{H}_9$ .

Він не отруйний, відрізняється вищою теплотою згоряння, гарним змішуванням з бензином у будь-яких співвідношеннях, не агресивний до конструкційних матеріалів. При введенні МТБЕ в бензин у кількості 11% на 10-12°C знижується температура холодного запуску двигуна. При додаванні 10% МТБЕ октанове число бензинів підвищується на 2,1-5,8 од. (за дослідним методом), а при добавці 20% – на 4,6-12,6 од.

Ряд підприємств виробляють МТБЕ (ТУ 38.103704-90) або суміш на його основі під назвою "фетерол" (ТУ 301-03-130-93). Максимально допустимий вміст МТБЕ чи фетеролу у вітчизняних бензинах становить 15%.

Як антидетонаційні присадки передбачається застосування композицій, що містять марганець і залізо у вигляді циклопентадієнілтрикарбоніл марганцю (ЦТМ) і

біциклопентадієніл заліза (фероцен) і його похідних. На основі дициклопентадієнілу заліза розроблена присадка "Октан-Максимум" (ТУ 6-00-05008008-002-96). Крім того, проведено випробування автомобільних бензинів, що містять у своєму складі присадку ФК-4 (фероценілдиметилкарбоніл). Випробування показали, що введення присадки ФК-4 забезпечує зниження шкідливих викидів з відпрацьованими газами (по СО на 10-20%, за вуглеводними – в 1,2-2,4 рази). Стан свічок запалювання після пробігу 4 тис. км. задовільний. Перебоїв у системі запалювання не виявлено.

За результатами стендових та експлуатаційних випробувань до застосування допущені антидетонатори на основі ферроцену при вмісті заліза у бензинах усіх марок не більше 37 мг/дм.

Марганцевий антидетонатор пройшов широкі випробування в нашій країні та застосовується у деяких зарубіжних країнах. МЦТМ – кристалічна речовина з температурою плавлення 76°C, добре розчиняється в бензині і не розчиняється у воді, має високі антидетонаційні властивості. Бензини, що містять ЦТМ мають хороші низькотемпературні властивості, на відміну від ТЕС не призводять до швидкого отруєння нейтралізаторів відпрацьованих газів. Токсичні властивості сполук марганцю і заліза, що застосовуються як присадки на їх основі, істотно нижчі за ТЕС.

Також допущені до застосування як антидетонаційні присадки малотоксичні азотовмісні присадки – ароматичні аміни. Серед них широкого застосування набула присадка АДА.

Заходи щодо покращення екологічних показників бензинів та заміни тетраетилсвинцю (ТЕС) на високооктанові вуглеводневі або кисневмісні компоненти не можуть бути реалізовані всіма нафтопереробними заводами (НПЗ) внаслідок різних технологічних та фінансових можливостей. Тому розробляються і випробовуються, як було зазначено, інші антидетонаційні присадки чи добавки – замітники ТЕС. У таблиці 2.2 наведено переліки найпоширеніших заміників ТЕС та їх технічні показники.

З представлених даних видно, що введення ТЕС у бензини є найбільш ефективним і дешевим способом підвищення октанового числа бензинів, але через його високу токсичність і несумісність з нейтралізаторами відпрацьованих газів автомобілів його застосування заборонено і обмежено.

Таблиця 2.2 – Антидетонаційна ефективність різних антидетонаційних присадок та добавок

Найменування присадки або добавки	Кількість присадки чи добавки підвищення на 1 окт. од. 1 т бензину, кг	Максимальне збільшення октанового числа за допустимої концентрації присадки в бензині, од.
Етилова рідина	0,07	X
Присадка МЦТМ	0,1	5
Присадка ФК-4	0,07	3
Добавка АДА	2,5	6
МТБЕ	30	4,5
Фетерол с МЦТМ (марка Д)	8	6,5
Добавка Фаррада	1,33	7,5

В даний час досить активно ведуться роботи з використання металовмісних антидетонаторів, як уже було сказано вище, на основі сполук заліза та марганцю. За результатами численних випробувань підтверджено їхню можливість використання у складі автомобільних бензинів. Вони мають високі антидетонаційні властивості, як уже було зазначено, менш токсичні в порівнянні з ТЕС, але мають і недоліки.

Так, бензини з марганцевими антидетонаторами (ЦТМ, МЦТМ) дають підвищені відкладення на поверхнях свічок запалювання та каталізаторах допалювача, знижуючи ефективність їх роботи. Крім того, з'єднання марганцю при вдиханні мають нейротоксичну дію і при масовому застосуванні в місцях скупчення автомобілів або закритих стоянках і в ремонтних зонах можуть перевищити гранично допустиму концентрацію.

Залізовмісні присадки (фероцени) не токсичні, порівняно дешеві та ефективні, але викликають підвищений знос деталей двигунів та нагаролаковідкладення. При малих концентраціях фероценів (до 40 мг/кг бензину) їх негативний вплив на роботу двигуна сповільнюється, але не зникає, інтенсивність зношування деталей знижується, але залишається на рівні вище, ніж при використанні бензинів без присадки.

Виходячи з постійно зростаючих вимог до надійності та екологічних характеристик двигунів, застосування бензинів з металовмісними присадками можна розглядати лише як тимчасову альтернативу етилованим бензинам, які не відповідають за технічним рівнем Європейському стандарту ЕК 228.

## **2.8 ВЛАСТИВОСТІ БЕНЗИНІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА УТВОРЕННЯ ВІДКЛАДЕНЬ В ДВИГУНІ**

**Стабільність палива** – здатність зберігати властивості в допустимих межах для конкретних експлуатаційних умов. Стабільність палив залежить насамперед від їх фізико-хімічних властивостей (щільності, в'язкості, температури кипіння, вуглеводневого складу), наявності різних домішок та ін. В експлуатаційних умовах, коли паливо піддається впливу таких зовнішніх факторів, як кисень повітря, нестабільна температура, забруднення вологою та механічними домішками, погіршуються його фракційний та хімічний склад. Умовно розрізняють **фізичну та хімічну стабільність палива**, враховуючи, що при зміні деяких його фізичних властивостей у ньому можуть виникнути зміни хімічного порядку та навпаки.

**Фізична стабільність палив.** Фізичну стабільність палива визначають як **здатність зберігати фракційний склад** (зміни викликаються втратою найбільш низькокиплячих фракцій в результаті їх випаровування) **та однорідність**. Фізичну стабільність бензину оцінюють по тиску насиченої пари та наявності легких фракцій. Недостатня фізична стабільність у ряді випадків визначається щодо високої випаровуваності бензину.

Конструкція паливних баків повинна унеможливити вільне сполучення їх внутрішнього обсягу з атмосферою. Для виключення випаровування паливні баки захищають від прямих сонячних променів елементами конструкції автомобіля або спеціальними екранами. Це дозволяє звести до мінімуму їх нагрівання сонячними променями та теплом від двигуна.

Фізичну стабільність палива оцінюють і контролюють, періодично визначаючи щільність, фракційний склад, тиск насичених парів, температуру застигання та інші показники.

Вміст ароматичних вуглеводнів у паливі допускається в обмежених кількостях. Це пов'язано з тим, що вони мають найвищу порівняно з іншими вуглецеями гігроскопічність.

**Хімічна стабільність.** Під хімічною стабільністю палива розуміють його здатність *зберігати без змін свій хімічний склад*.

В умовах тривалого зберігання деякі з сполук (сірчані, кисневі, азотисті та металорганічні) можуть вступати в реакції окислення (основна реакція, що викликає зміну експлуатаційних властивостей вуглеводневих палив), полімеризації та конденсації.

Хімічна стабільність бензинів залежить від складу і будови вуглеводнів, що входять до них. Найбільш схильні до окислення ненасичені вуглеводні, взаємодія яких з киснем повітря залежить від їх будови, числа та розташування подвійних зв'язків. Парафінові, нафтені та ароматичні вуглеводні в умовах зберігання та транспортування окислюються порівняно повільно. Кисневі сполуки, що утворюються в процесі окислення, самі є каталізаторами, що прискорюють подальше окислення палива. Тому цей процес оцінюють як самоприскорюваний або автомобільний каталітичний. Окислення палива зі зростанням його температури посилюється.

Процес окислення вуглеводнів пояснюють теорією ланцюгових реакцій, перебіг яких супроводжується утворенням поряд з кінцевими продуктами проміжних нестійких сполук – перекисів, що розкладаються з виділенням кількості енергії, достатньої для продовження реакційного ланцюга без підведення енергії ззовні.

Вміст у паливі кислот та інших продуктів з кислотною реакцією характеризується показником, званим кислотністю палива, зі збільшенням якого зростає його корозійна агресивність і підвищується знос двигуна. Його значення визначають кількістю луку КОН в мг, яке необхідно для нейтралізації 100 мл палива.

Наявність у паливі сірчистих сполук (особливо дисульфідів та меркаптанів) погіршує його стабільність і сприяє смолоутворенню.

Внаслідок окислення бензинів утворюються розчинні органічні кислоти, смолисті речовини. Вміст фактичних смол – продуктів реакцій окислення, полімеризації і конденсації визначають ступінь осмолення бензинів.

Вміст фактичних смол, нормований стандартами, визначають випаровуванням гарячим повітрям певної кількості палива при підвищеній температурі (для бензину 150°C, дизельного палива 250°C) по залишку, отриманому після випаровування. Наявність фактичних смол оцінюють у міліграмах на 100мл палива. Для бензину, наприклад, воно становить не більше 5 мг/100 см<sup>3</sup> на місці виробництва та на місці споживання за ДСТУ 7687:2015.

Так як вуглеводні, що входять до складу палива, безбарвні, його забарвлення в жовто-коричневі кольори пояснюється наявністю в ньому смолистих речовин. Тому про наявність смол у паливі можна візуально судити за його кольором.

При вмісті фактичних смол у межах, що допускаються стандартами, двигуни тривалий час працюють без підвищеного смоло- та нагароутворення. Якщо вміст смол у два-три рази вищий за норму, що при експлуатації автомобілів нерідко яви-

ще, то моторесурс бензинового двигуна знижується на 20-25%, і, крім того, виникають різні неполадки (зависають клапани і т.д.).

Здатність бензину зберігати свій склад незмінним за дотримання умов перевезення, зберігання та використання оцінюють *індукційним періодом (індекс випаровування)*. Цей показник визначають за часом у хвиликах від початку окислення бензину до активного поглинання ним кисню в лабораторній установці (герметичній посудині) при штучному окисненні бензину (температура  $100 \pm 1$  °С в атмосфері сухого та чистого кисню при тиску 0,7 МПа). Цей час для бензинів різних марок коливається від 360 до 1250 хв. Бензини, які застосовують у зимовий період, повинні мати великий індекс випаровуваності. Значне накопичення смол та інших продуктів окиснення, неприпустиме погіршення експлуатаційних властивостей бензину починається після того, як час окиснення перевищить індукційний період.

Низька хімічна стабільність палив впливає на утворення різних відкладень на деталях двигуна, що призводить до погіршення його роботи.

Для підвищення хімічної стабільності бензинових дистилатів найбільш перспективне гідроочищення. Цей метод дозволяє підвищити стабільність та знизити вміст сірчистих сполук.

Вважають, що найбільш ефективний і економічно вигідний спосіб підвищення хімічної стабільності бензинових фракцій – введення спеціальних багатофункціональних антиокислювальних присадок – сполук фенольного, амінного та амінофенольного типів, здатних обривати ланцюгові реакції окиснення, гальмувати окислювальні процеси в бензинах, збільшуючи тим самим індукційний період окислення. Такі присадки надають паливам, крім того, протизносні (змащувальні) та захисні (протикорозійні) властивості. Бензини стабілізують наступними антиокислювачами: деревно-смольний, ФЧ-16, п-оксидифеніламін, іонолом.

**Забрудненість бензинів.** Згідно зі стандартами, бензини не повинні містити механічних домішок – твердих частинок органічного та неорганічного походження, що залишаються на паперовому фільтрі після фільтрування певного обсягу палива.

Встановлено, що механічні домішки (грунтовий пил, продукти корозії заводської апаратури, резервуарів, трубопроводів, продукти зносу перекачувальних засобів, тощо), потрапляючи в камери згоряння двигунів, викликають збільшений знос поршневих кілець, стінок циліндрів. Тому підвищення чистоти бензинів – важливий чинник підвищення надійності та довговічності двигуна.

## 2.9 КОРОЗІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ БЕНЗИНІВ

Мінімальний корозійний вплив на метали – одна з основних вимог, що висуваються до бензинів. Під корозією розуміють мимовільне руйнування твердих тіл, викликане хімічними та електричними процесами, що розвиваються на поверхні тіла при його взаємодії із зовнішнім середовищем.

Паливо може викликати корозію металів і в рідкому, і в газоподібному стані.

Корозії піддаються резервуари, цистерни, паливні баки, трубопроводи, деталі паливної апаратури. Сприяє цьому наявність у паливі корозійно-агресивних сполук: водорозчинних (мінеральних) кислот та лугів, активних сірчаних сполук, води, органічних кислот.

**Водорозчинні кислоти** та луги в бензинах повинні бути відсутніми. Проте водорозчинні кислоти та луги можуть потрапити у паливо при транспортуванні та зберіганні, наприклад, коли погано очищена тара. У таких випадках не виключена присутність сірчаної кислоти, їдкого натру, сульфокислот та інших речовин, що викликають сильну корозію кольорових та чорних металів.

Основу органічних сполук кислого характеру, які практично завжди містяться в паливі, становлять нафтенові кислоти R-COOH та феноли (частіше C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>OH). Найбільш активні вони стосовно кольорових металів (свинець, цинк), причому з підвищенням температури їх активність зростає, а зі збільшенням молекулярної маси – зменшується. Вміст органічних кислот у паливах характеризують кислотністю – її нормують кількістю лугу (у міліграмах), необхідної для нейтралізації кислот, що містяться у 100 мл палива.

**Сірчані сполуки** за корозійною агресивністю поділяють на активні та неактивні. Їх вміст у паливі негативно позначається на його експлуатаційних властивостях, таких як стабільність, здатність до нагароутворення, корозійної агресивності та ін. Активні сірчані сполуки викликають корозію металів навіть за нормальних умов, присутність їх у паливі неприпустима.

Неактивні сірчані з'єднання не є небезпечними для резервуарів, трубопроводів, паливних баків та інших деталей автомобілів, оскільки при контакті з металами корозійний процес не виникає.

При згорянні як активні, так і неактивні сполуки утворюють сірчаний та сірчистий ангідриди SO<sub>2</sub> та SO<sub>3</sub> (при конденсації з продуктів згорання утворюється вода). З'єднуючись з водою вони утворюють сірчисту та сірчану кислоти. Сірчаний ангідрид при роботі прогрітого двигуна викликає газову корозію циліндра, поршня та випускних клапанів. За результатами численних експериментів і практичними даними встановлено, що корозійне зношування значною мірою залежить від зношеності двигуна, кількості сірки, що міститься в паливі, та конкретних умов експлуатації: при збільшенні вмісту сірки в бензині від 0,05 до 0,1% знос двигунів зростає в 1,5-2 рази, з 0,1, до 0,2% – ще в 1,5-2 рази, а з 0,2 до 0,3% – в 1,3-1,7 рази.

## **2.10 ЕКОЛОГІЧНІ ВИМОГИ ДО БЕНЗИНІВ**

Питання екології в сучасному світі набули світоглядного та морального характеру. Це зумовлено об'єктивною реальністю глобальної екологічної кризи, негативного впливу техносфери на біосферу.

Відомо, що 90% шкідливих речовин, що потрапляють у атмосферу наших міст посідає автомобільний транспорт.

Продукти згорання моторних палив – один з основних забруднювачів повітряного басейну. У міру збільшення обсягу споживання палив зростає вміст у повітрі токсичних складових відпрацьованих газів двигунів.

Велику загрозу для здоров'я людини становлять і пари бензинів, вміст яких в атмосфері зі збільшенням обсягу виробництва нафтопродуктів також зростає. Внаслідок цього поліпшення якості бензинів, з метою підвищення екологічної безпеки їх застосування, може бути досягнуто зміною вуглеводневого та хімічного складу палив. Орієнтирами при розробці та впровадженні бензинів з покращеними екологічними показниками є норми Європейських стандартів на бензини ЕК 228, а також

фактичні показники якості європейських палив, які, як правило, вищі за норми, що регламентуються міжнародними стандартами.

Проблема підвищення якості бензинів вирішується за рахунок:

- відмови від застосування у складі бензинів сполук свинцю;
- зниження вмісту сірки в бензинах до 0,05%, а в перспективі до 0,003%;
- зниження вмісту ароматичних вуглеводнів до 45%, а в перспективі до 35%;
- нормування концентрації фактичних смол у бензинах на місці застосування на рівні не більше 5 мг на 100 см<sup>3</sup>;
- диференціації показників якості за фракційним складом та тиском насиченої пари (8 класів) з урахуванням сезону експлуатації автомобільної техніки та температурного фону, характерного для конкретної кліматичної зони. Наявність 8 класів дозволяє запропонувати споживачеві бензин з оптимальними властивостями в залежності від реальної температури навколишнього повітря, що забезпечує роботу двигунів без утворення парових пробок при температурах повітря до плюс 60°C та гарантує високу випаровуваність бензинів та легкий пуск двигуна при температурах нижче мінус 35°C;
- введення миючих присадок, що не допускають забруднення та осмолення деталей паливної апаратури.

Дослідження екологічної ефективності застосування бензинів показали, що:

- при покращенні якості бензину до рівня європейського стандарту за вмістом сірки, бензолу та за відсутності свинцю екологічна агресивність відпрацьованих газів знижується на 4%;
- при використанні МТБЕ агресивність відпрацьованих газів зменшується на 3%, в основному, за рахунок заміщення кисневмісною добавкою ароматичних складових бензину і більш повного згоряння палива (зниження СО на 12%);
- введення миючої присадки сприяє зниженню агресивності та викидів на 5%.

## 2.11 АСОРТИМЕНТ БЕНЗИНІВ, ЩО ВИРОБЛЯЮТЬСЯ В УКРАЇНІ

Найважливіша умова виведення вітчизняної нафтопереробної промисловості на сучасний технологічний рівень – підвищення якості нафтопродуктів та доведення їх до прийнятих екологічних стандартів.

Відповідно до ДСТУ 7687-2015 року в Україні випускаються три види бензинів: А-92-євро, А-95-євро, А-98-євро. Усі інші бензини, що ввозяться або виробляються на території України, повинні відповідати вимогам цього ДСТУ. Основні показники бензинів, що випускаються, наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Фізико-хімічні показники бензинів

Назва показника	Значення для марок бензинів		
	А-92-євро	А-95-євро	А-98-євро
1. Детонаційна стійкість: ОЧ за дослідницьким методом, не менше ніж ОЧ за моторним методом, не менше ніж	92,0 82,5	95,0 85,0	98,0 88,0
2. Концентрація свинцю, мг/дм <sup>3</sup> , не більше ніж	5	5	5
3. Густина за температури 15°C, кг/м <sup>3</sup> , в межах	720 – 775	720 – 775	720 – 775
4. Вміст сірки, мг/кг, не більше ніж: вид I /вид II	10/50	10/50	10/50

### Продовження таблиці 2.3

5. Стійкість до окислення, хв., не менше ніж	360	360	360
6. Концентрація фактичних смол, мг/100 см <sup>3</sup> , не більше ніж	5	5	5
7. Випробування на мідній пластинці або корозія мідної пластинки (3 год. ± 5 хв., за температури 50°C), клас, не більше ніж	витримує 1	витримує 1	витримує 1
8. Зовнішній вигляд	прозорий та світлий, без механічних домішок і води	прозорий та світлий, без механічних домішок і води	прозорий та світлий, без механічних домішок і води
9. Об'ємна доля вуглеводнів, %, не більше ніж:			
– олефінових	18	18	18
– ароматичних	35	35	35
10. Об'ємна доля бензолу, %, не більше ніж	1,0	1,0	1,0
11. Масова доля кисню, %, не більше ніж	2,7	2,7	2,7
12. Об'ємна доля органічних кисневмісних сполук, %, не більше ніж:			
– метанолу	3,0	3,0	3,0
– етанолу	5,0	5,0	5,0
– ізопропилового спирту	10,0	10,0	10,0
– ізобутилового спирту	10,0	10,0	10,0
– третбутилового спирту	7,0	7,0	7,0
– простих ефірів	15,0	15,0	15,0
– інших органічних кисневих з'єднань з температурою кінця кипіння не вище ніж 210°C	10,0	10,0	10,0

### 2.12 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Яке згоряння палива називається детонаційним і як воно впливає на роботу двигуна?
2. Що називається гартальним запалюванням і яку шкоду завдає двигуну?
3. Які способи застосовуються для запобігання детонаційному згорянню в двигуні?
4. Як оцінюється детонаційна стійкість бензинів?
5. Які сполуки використовуються як антидетонаційні присадки?
6. Від чого залежить стабільність палив?
7. Якими показниками оцінюється стабільність палив та якими засобами підвищується?
8. Якими сполуками, що знаходяться в бензині, обумовлена його корозійна агресивність і як їй запобігти?
9. Що впливає на екологічну безпеку бензинів?
10. Які марки бензинів використовуються на автомобільному транспорті?
11. Які експлуатаційні вимоги висуваються до бензинів?
12. Як впливають щільність та в'язкість бензину на його витрату?
13. Якими показниками оцінюється випаровуваність бензинів?
14. Як впливає випаровуваність бензинів на роботу двигуна в різних кліматичних умовах?
15. Що таке фракційний склад бензину?
16. Дайте визначення поняття «тиск насичених парів».
17. Навіщо потрібні низькотемпературні властивості бензинів.

## ЛЕКЦІЯ 3. ДИЗЕЛЬНІ ПАЛИВА

План лекції:

3.1 Експлуатаційні вимоги

3.2 Сумішоутворення

3.3 Самозапалювання та цетанове число. Температура спалаху

3.4 Випаровуваність. Схильність до нагароутворення

3.5 Корозійні властивості

3.6 Низькотемпературні властивості

3.7 Вода і механічні домішки

3.8 Токсичність відпрацьованих газів дизельних двигунів

3.9 Асортимент дизельних палив

3.10 Контрольні питання

### 3.1 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:

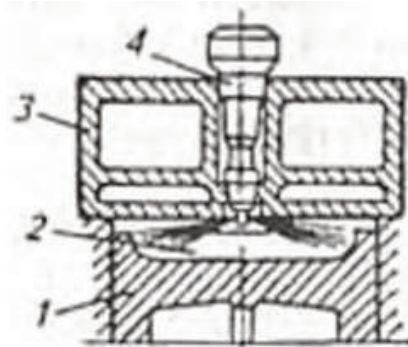
- цетанове число, що визначає потужність та економічні показники роботи двигуна;
- низькотемпературні властивості, що визначають роботу системи живлення за негативних температур навколишнього середовища;
- в'язкість та щільність, що забезпечують нормальну подачу палива, розпилення його в камері згоряння 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 сумішеутворенням. 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.

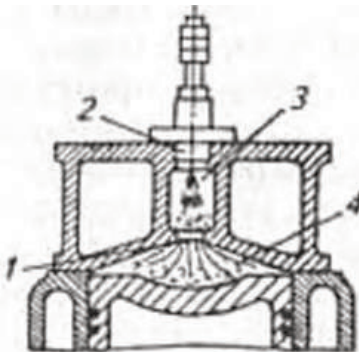
Камери згоряння дизельних двигунів бувають нерозділені та розділені. У нерозділених камер згоряння (рис. 3.1) весь простір стиснення є єдиним об'ємом, в який безпосередньо впорскується паливо. Оскільки процес сумішеутворення відбувається в єдиному обсязі, до якості розпилення висувають дуже високі вимоги.



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

Рисунок 3.1 – Схема нерозділеної камери згоряння

Розділену камеру згоряння мають передкамерні дизелі. Така камера згоряння складається з основної камери 4 (рис. 3.2) 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 3.2 – 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/м<sup>3</sup>.

*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.

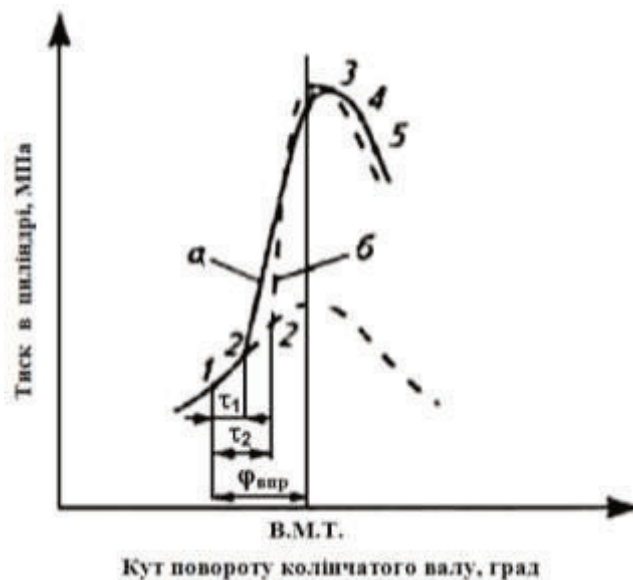
З підвищенням в'язкості збільшується довжина струменя. При цьому частина крапель потрапляє на стінки камери згоряння, внаслідок чого погіршується процес сумішоутворення, випаровування та повнота згоряння палива. Це веде до перевитрати палива, зниження потужності, підвищення димності відпрацьованих газів.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

### 3.3 САМОЗАПАЛЮВАННЯ ТА ЦЕТАНОВЕ ЧИСЛО. ТЕМПЕРАТУРА СПАЛАХУ

*Самозапалювання.* Робочий процес дизеля відрізняється від процесу бензинового двигуна приготуванням та займанням горючої суміші. Запалювання 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 3.3 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 упорскування 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 підігріваються до високої температури та випаровуються.



*а - при нормальній роботі; б - при жорсткій роботі; 1 – початок впорскування;  
2 - samozapalювання палива; 3 - кінець швидкого згорання;  
4 - кінець сповільненого згорання; 5 - кінець догорання.*

Рисунок 3.3 – 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 згорання палива. Більшість палива до цього моменту встигає випаруватися, і процес згорання охоплює все нові порції горючої суміші. Паливо продовжує подаватися форсункою в камеру згорання, воно інтенсивно поєднується з повітрям, випаровується і швидко згоряє. Внаслідок швидкого згорання палива тиск у циліндрі значно збільшується. Період швидкого згорання 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 згорання зростання тиску припиняється, швидкість згорання знижується.

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

**період догорання.** Фаза догорання може досягати  $70^\circ$  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 згорання бензину в бензинових двигунах. Якщо на  $1^\circ$  повороту колінчастого валу тиск у камері згорання 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  $13^\circ$  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 центові 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» ро-

зроблено 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  $\nu_{20}$

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

при відомому вуглеводневому складі

$$\text{ЦЧ} = 0,85\Pi + 0,1H - 0,2A,$$

де  $\Pi$ ,  $H$ ,  $A$  – вміст відповідно парафінових, нафтиєвих 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 небезпеку дизельного палива під час його транспортування, зберігання та заправці.

### 3.4 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 випаровування. 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 згоряння 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 згорянні палива спостерігається нагароутворення на стінках камери згоряння та впускних клапанах, а також на розпилювачах та голках розпилювачів форсунок. На стінках камери згоряння, 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 згоряння 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 згоряння, 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.

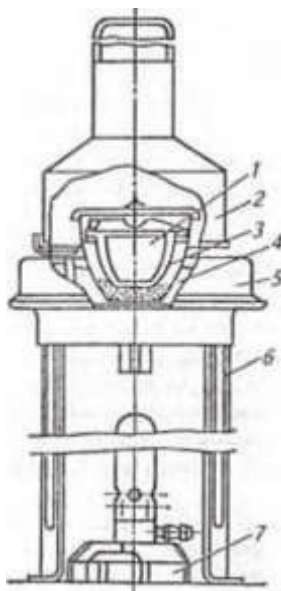
**Нагароутворення** в двигуні залежить від наступних параметрів дизельного палива: вмісту фактичних смол і сірки, фракційного складу, кількості ненасичених і ароматичних вуглеводнів, зольності і коксування. Зі збільшенням вмісту фактичних смол у паливі збільшується нагароутворення на деталях двигуна, закоксовування от-

ворів 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. 3.4), 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 3.4 – 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 паливник 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.

### 3.5 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.

### 3.6 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.

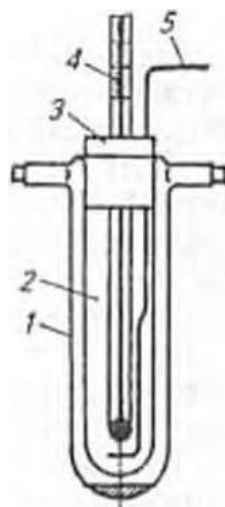
Для забезпечення необхідних температур помутніння та застигання зимові сорти палива отримують за рахунок полегшення фракційного складу. При виробництві зимових сортів дизельного палива використовують депресорні присадки. Додаючи ці присадки в сотих частках відсотка можна знизити граничну температуру застигання на 15...20 °C. У разі введення депресорних присадок температура помут-

ніння 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 3.5.



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

Рисунок 3.5 – 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 вставленим 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.

### **3.7 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...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...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 ко-

розії, 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, нафтових 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.

### **3.8 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, 3, Арк);
- символ екологічного класу (Євро3, Євро4, Євро5);
- 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-Євро4-В7 згідно з ДСТУ 7688:2015».

Позначка 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-В0 згідно з ДСТУ 7688:2015».

Дизельне паливо за своїми фізико-хімічними показниками має відповідати вимогам та нормам, наведеним у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Фізико-хімічні показники дизельного палива

Назва показника	Значення для марок			Метод контролювання
	Л	3	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]
5 Вміст сірки, мг/кг, не більше				
Євро5		10		Згідно з ДСТУ EN ISO 20884 або ДСТУ ISO 20846 <sup>2)</sup> , або EN ISO 20846 [8], або EN ISO 13032 [9]
Євро4		50		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]
Євро3		350		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				Згідно з ДСТУ ISO 2719 або ГОСТ 6356, або ASTM D93 [11]
Євро5		55		
Євро4		55		
Євро3		40		
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]

### Продовження таблиці 3.1

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
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 Змашувальна здатність: діаметр плями зносу за темпе- ратури 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 Гранична 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]

### 3.8 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.

### **3.9 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ**

1. Які експлуатаційні вимоги висувають до дизельного палива?
2. Від яких властивостей палива залежить хороше сумішоутворення?
3. Що таке цетанове число дизельного палива?
4. Розкажіть про вплив випаровування дизельного палива на роботу двигуна.
5. Що спричиняє підвищену корозію та зношування деталей двигуна?
6. Як діють депресорні присадки?
7. Які властивості повинно мати екологічно чисте дизельне паливо?

## ЛЕКЦІЯ 4. АЛЬТЕРНАТИВНІ ПАЛИВА

План лекції:

- 4.1 Газоподібні палива. Загальні відомості
- 4.2 Скраплений газ
- 4.3 Природний газ
- 4.4 Генераторний газ. Біогаз. Синтез-газ
- 4.5 Особливості використання газоподібних палив
- 4.6 Спиртові палива
- 4.7 Біопалива
- 4.8 Водень як паливо
- 4.9 Топочні мазути
- 4.10 Пічне побутове паливо
- 4.11 Тверде паливо
- 4.12 Контрольні питання

### 4.1 ГАЗОПОДІБНІ ПАЛИВА. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

У двигунах внутрішнього згоряння поряд із рідкими паливами застосовують газоподібні. Автомобільна промисловість на базі бензинових автомобілів серійно випускає газобалонні, які в основному використовуються як міський транспорт.

Швидке зростання автомобільного парку в містах вимагає знаходження способів зменшення токсичності відпрацьованих газів. Ця проблема може бути частково вирішена під час переведення автомобілів на газоподібне паливо. Значну частину автомобілів у великих містах вже переведено на газоподібне паливо, яке має суттєві техніко-економічні та санітарно-гігієнічні переваги перед іншими автомобільними паливами. При роботі на ньому відбувається повніше згоряння палива, знижується токсичність відпрацьованих газів. Так, у відпрацьованих газах двигунів, що працюють на скрапленому газі, приблизно в 5 разів менше діоксиду вуглецю і в 3...3,5 рази менше вуглеводнів, що не згоріли, у порівнянні з вмістом цих компонентів у відпрацьованих газах автомобілів, що працюють на бензині (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Склад відпрацьованих газів газоподібних палив та бензину, г/100км

Склад відпрацьованих газів	При використанні		
	бензину	стиснутих газів	скраплених газів
Незгорілі вуглеводні	187,5	131,3	55,0
Діоксид вуглецю	1250	468,8	256,3
Оксиди азоту	250	118,8	118,8

Працюючи на газоподібному паливі знижуються нагароутворення, витрата моторної оливи. Крім того, газоподібне паливо має високі октанові числа і теплоту згоряння. У таблиці 4.2 наведено деякі показники якості газоподібних вуглеводнів.

Таблиця 4.2 – Показники газоподібних вуглеводнів

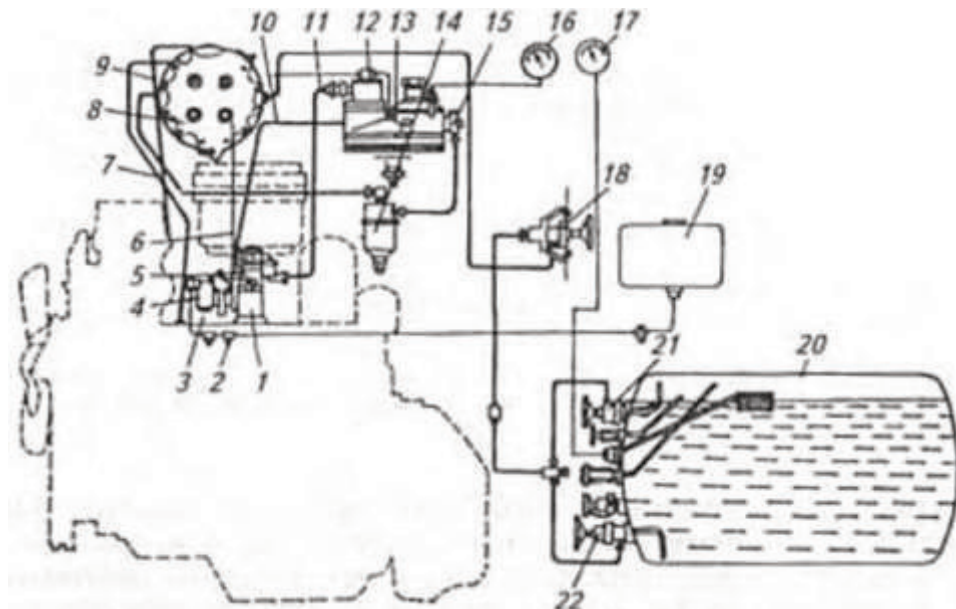
Вуглеводень	Відносна щільність за повітрям	Критична температура <sup>1</sup> , °C	Температура кипіння, °C	Нижча теплота згоряння, МДж/м <sup>3</sup>	Октанове число за дослідницьким методом
Метан	0,554	– 82,1	– 161	35,8	120
Етан	1,138	32,3	– 94	63,7	116,3
Пропан	1,523	95,7	– 44	91,2	111,6
Пропілен	1,453	91,6	– 47	86	102,6
н-Бутан	2,007	152,8	– 0,5	118,6	95,8
Бутилен	1,937	144,0	– 5	113,5	91,4
Ізобутан	2,007	134,0	– 11,7	118,6	102,1

<sup>1</sup>Температура, вище якої газ не може бути зрідженим ні під яким тиском.

Сировиною для одержання газоподібного автомобільного палива є природний і попутний газ, що виділяються при видобутку нафти, а також газ нафтопереробних, нафтохімічних заводів та ін. Основні компоненти природних газів: метан, у менших кількостях етан, пропан, бутан. **Вуглеводні, критичні температури яких вищі за звичайні температури експлуатації автомобілів, легко переходять у рідкий стан під певним тиском і тому називаються скрапленими.** До таких вуглеводнів належать **пропан, бутан.** Для переведення пропану в рідкий стан необхідний тиск **0,85 МПа**, а для бутану – **0,2 МПа** при **20 °C**. **Вуглеводні, критичні температури яких нижчі за звичайні температури експлуатації автомобілів, застосовують, як правило, в стислому стані і називають стиснутими.** До них відносяться **метан** та **етан.** Для переведення метану в рідкий стан необхідні температури нижче **мінус 82°C**. При температурі **мінус 161°C** метан переходить в рідкий стан при атмосферному тиску. При температурах вище **мінус 82°C** він не може бути переведений в рідкий стан ні за якого високого тиску стиснення.

Газобалонні автомобілі відрізняються від базових бензинових моделей більш високим ступенем стиснення робочої суміші в двигуні та наявністю газобалонної установки. Складові частини газобалонної установки: паливоподаюча апаратура, що забезпечувала випаровування, зниження тиску та дозування газу відповідно до режиму роботи двигуна; балони для транспортування та зберігання газу (рис. 4.1).

Однак газоподібне паливо має деякі недоліки. Основним недоліком є те, що газонаповнювальні станції в порівнянні з автозаправними станціями рідким паливом складніші і дорожчі. Це стримує використання газобалонних автомобілів на міжміських перевезеннях. При переведенні бензинових двигунів на газоподібне паливо без додаткових переробок погіршуються енергетичні показники двигуна: потужність двигуна знижується на **6...8%** при роботі на зрідженому газі та на **18... 19%** при роботі на природному газі через зниження коефіцієнта наповнення, нижчої теплоти згоряння газоповітряної суміші та ін.



- 1 - проставка; 2 - фільтр-відстійник; 3 - паливний насос; 4 - карбюратор; 5 - змішувач газів.  
 6, 10 - трубки; 7, 9, 11 - шланги; 8 - випарювач; 12 - дозуючий пристрій; 13 - редуктор газу;  
 14 - газовий фільтр; 15 - сітчастий фільтр; 16 - манометр;  
 17 - вказівник рівня зрідженого газу в балоні; 16 - магістральний вентиль; 19 - паливний бак;  
 20 - балон; 21 - видатковий вентиль парової фази; 22 - видатковий вентиль рідкої фази.

Рисунок 4.1 – Схема газобалонної установки автомобіля

## 4.2 СКРАПЛЕНИЙ ГАЗ

В автомобільних двигунах використовують скраплені гази, які отримують у процесі перегонки нафти. Ці гази мають високу теплоту згоряння, транспортабельні, перевозяться транспортом будь-якого виду. При роботі на скраплених газах двигуни мають високі техніко-економічні та санітарно-гігієнічні показники. Скраплені гази переходять із газоподібного стану (парової фази) в рідкий (рідку фазу) при температурі навколишнього повітря та відносно невеликих тисках.

Для автомобільного транспорту випускають скраплений газ марок **ПА – пропан автомобільний та ПБА – пропан-бутан автомобільний**. Фізико-хімічні показники цих газів наведено в таблиці 4.3.

У систему живлення двигунів, що працюють на скрапленому газі, входять балони загальною місткістю 225 л, які розраховані на тиск 1,6 МПа.

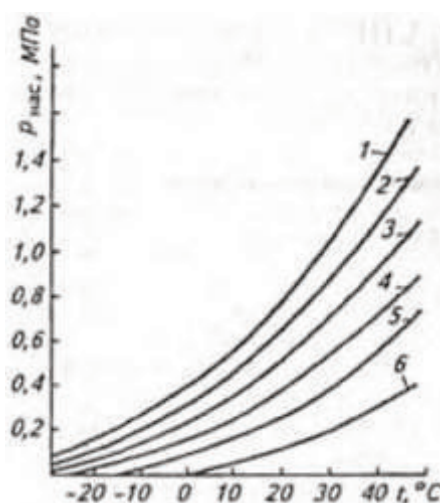
Газ марки ПБА призначений для всіх кліматичних районів за температурою навколишнього повітря не нижче  $-20^{\circ}\text{C}$ , а марки ПА – в зимовий період для тих кліматичних районів, де температура повітря нижча від  $-20^{\circ}\text{C}$ . Рекомендований температурний інтервал застосування газу марки ПА від  $-20$  до  $-35^{\circ}\text{C}$ . У весняний період з метою повної витрати запасів скрапленого газу марку ПА допускається застосовувати при температурі до  $10^{\circ}\text{C}$ .

Основні компоненти скрапленого газу, що забезпечують оптимальний тиск насиченої пари в газовому балоні – пропан і пропілен. Тиск насиченої пари істотно впливає на роботу газової установки автомобіля. На рисунку 2 показана залежність тиску насичених парів  $P_{нас}$  пропанобутанових сумішей від температури  $t$ . Тиск парів зростає з підвищенням температури, причому у пропану значно швидше, ніж у бутану. Чим більше в пропанобутановій суміші пропану, тим вище пружність парів суміші. Знаючи тиск суміші за певної температури, можна оцінити відсотковий вміст у ній пропану та бутану.

Таблиця 4.3 – Фізико-хімічні показники скраплених автомобільних газів марок ПА та ПБА

Показник	ПА	ПБА
Масова частка компонентів, %:		
сума метану та етану	Не нормується	
пропан	90 ± 10	50 ± 10
сума вуглеводнів вище C <sub>4</sub>	Не нормується	
сума ненасичених вуглеводнів, не більше	6	6
Тиск насиченої пари, надлишковий, МПа, при температурі:		
+45°C, не більше	—	1,6
-20°C, не менше	—	0,07
-35°C, не менше	0,07	—
Масова частка сірки та сірчистих з'єднань, %, не більше	0,01	0,01
У тому числі сірководню, не більше	0,003	0,003

Примітка. У газах обох марок є рідкий залишок при температурі +40°C і не містяться вільна волога і луги.



1 - пропан; 2 - 80% пропану + 20 % бутану; 3 - 60 % пропану + 40 % бутану;  
4 - 40 % пропану + 60 % бутану; 5 - 20 % пропану + 80 % бутану; 6 - бутан.

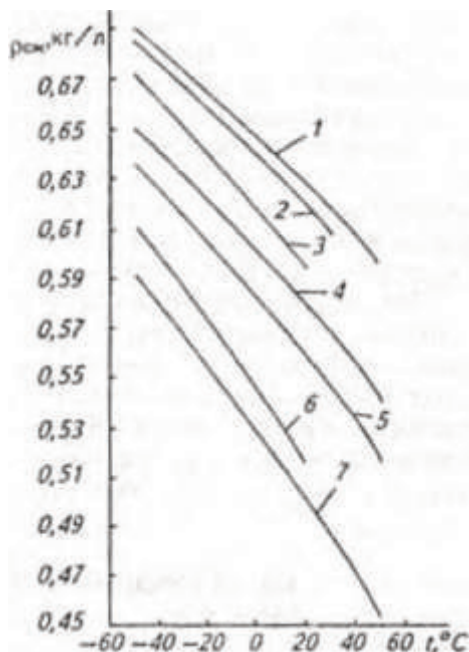
Рисунок 4.2 – Тиск насиченої пари пропанобутанових сумішей від температури

За максимальним тиском насичених парів суміші визначають міцність газового балона, а для забезпечення нормальної роботи паливної апаратури суміш повинна мати надлишковий тиск не менше **0,1 МПа**. Змінюючи компонентний склад, одержують зимові та літні суміші. Так, зимова суміш містить 75% пропану та пропілену, а літня суміш – 60% бутану та бутиленів. Бутанові вуглеводні (бутан, ізобутан, бутилен, ізобутилен та ін.) мають найбільшу теплоту згоряння і легко стискаються.

За щільністю рідкої фази можна судити про концентрацію енергії в одиниці об'єму скрапленого газу, що відноситься до легких рідин, щільність яких становить

0,5...0,55 кг/л. Відмінна риса скраплених газів – вищий коефіцієнт об'ємного розширення, ніж у рідких нафтопродуктів.

На рисунку 4.3 показано зміну щільності скраплених газів залежно від температури.



1 - пентан; 2 - ізопентан; 3 - бутилен та ізобутилен;  
4 - бутан; 5 - ізобутан; 6 - пропілен; 7 - пропан.

Рисунок 4.3 – Залежність щільності скраплених газів від температури

Наприклад, щільність пропану в скрапленому вигляді при  $-10^{\circ}\text{C}$  дорівнює  $0,54$  кг/л, а при  $30^{\circ}\text{C}$  зменшується до  $0,48$  кг/л. При цьому питомий обсяг зростає на  $11\%$ . Ця властивість враховується при заповненні балона газом, залишаючи близько  $10\%$  обсягу на парову подушку. Якщо балон повністю заповнений, тобто не буде парової подушки, то навіть незначне підвищення температури зрідженого газу призведе до різкого збільшення тиску в балоні. Збільшення тиску в балоні становить приблизно  $0,7$  МПа на градус підвищення температури зрідженого газу.

Усі компоненти скрапленого газу, крім метану та етилену, важчі ніж повітря, тому, з витоком вони накопичуються в низьких місцях (на підлозі, у канавах, ямах), утворюючи вибухову суміш. Скраплені гази менше вогне- та вибухонебезпечні, ніж бензинові пари. Скраплені гази утворюють вибухонебезпечні суміші з повітрям з концентрацією парів пропану від  $2,1$  до  $9,5\%$ , ізобутану від  $1,8$  до  $8,4\%$ , нормального бутану від  $1,5$  до  $8,5\%$  по об'єму при температурі  $15...20^{\circ}\text{C}$ .

Температура samozapalювання в повітрі при тиску  $0,1$  МПа ( $760$  мм рт.ст.): пропан  $466^{\circ}\text{C}$ , ізобутану  $462^{\circ}\text{C}$ , бутану  $405^{\circ}\text{C}$ . Максимально допустима концентрація в повітрі робочої зони (при перерахунку до вуглецю): пропан  $300$  мг/м<sup>3</sup>, ненасичені вуглеводні  $100$  мг/м<sup>3</sup>.

Скраплені гази мають високу детонаційну стійкість. Наприклад, октанове число пропану, визначене моторним методом, дорівнює  $96$ , бутану  $90$ . Однак деякі компоненти газу мають порівняно низькі октанові числа. Так октанове число бутилену  $80$ , а пропілену  $85$ , внаслідок чого їх вміст у скрапленому газі обмежують.

На організм людини токсичність компонентів скраплених газів впливає непрямым чином. Ці гази не викликають безпосереднього отруєння, проте при змішуванні з повітрям зменшують вміст у ньому кисню і цим зумовлюють кисневе голодування людини. Скраплені гази, потрапляючи на тіло людини, викликають обмороження, що нагадує опік.

Для відчуття присутності газу в навколишньому повітрі йому надають специфічний запах, додаючи речовини, що різко пахнуть – *одоранти*. З них найбільш широко застосовують *етилмеркаптан*: 2,5 г на 100 л зрідженого газу. При такому ступені одоризації можна за запахом визначити 0,4...0,5% газу в повітрі. Дана концентрація газу в повітрі невибухонебезпечна, оскільки становить лише 20% нижньої межі займистості.

### 4.3 ПРИРОДНИЙ ГАЗ

Для двигунів внутрішнього згоряння використовують природний паливний компримований газ. Цей газ одержують із пального природного газу, що транспортується магістральними газопроводами або міськими газовими мережами. На газонаповнювальній компресорній станції проводять компримування та видалення домішок за технологією, що не передбачає зміни компонентного складу.

У таблиці 4.4 наведено фізико-хімічні показники природного газу для двигунів внутрішнього згоряння. Основні компоненти газу: метан та етан. Можливі домішки азоту, кисню, сірководню, парів води та ін.

Таблиця 4.4 – Фізико-хімічні показники природного компримованого газу

Найменування показника	Значення показника
Об'ємна нижча теплота згоряння, кДж/м <sup>3</sup> , не менше	31800
Відносна щільність до повітря	0,55...0,70
Октанове число газу (за моторним методом), не менше	105
Вміст сірководню, г/м <sup>3</sup> не більше	0,02
Вміст меркаптанової сірки, г/м <sup>3</sup> , не більше	0,036
Вміст механічних домішок, мг/м <sup>3</sup> , не більше	1
Сумарна об'ємна частка негорючих компонентів, %, не більше	7
Об'ємна частка кисню, %, не більше	1
Вміст водяної пари, мг/м <sup>3</sup> , не більше	9

У систему живлення автомобільних двигунів, що працюють на стиснутому природному газі, входять сталеві балони місткістю 50 л, які розраховані на робочий тиск 19,6 МПа. Температура газу, що заправляється в балон, не повинна перевищувати температури навколишнього повітря більш ніж на 15°C. Газ здатний утворювати з повітрям вибухонебезпечні суміші.

Межі займання газу (за метаном) у суміші з повітрям при температурі 20°C та нормальному тиску становлять 5...15% (за обсягом). Гранично допустима концентрація вуглеводнів газу повітря робочої зони має бути не більше 300 мг/м<sup>3</sup> у перерахунку на вуглець, а сірководню – не більше 10 мг/м<sup>3</sup>.

Застосування стиснутих газів, особливо природних, найвигідніше у районах їх

видобутку, переробки, поблизу газових магістралей, соціальній та газифікованих містах. Переведення цих газів у рідкий стан в умовах експлуатації автомобілів потребує дуже високих тисків та низьких температур.

На автомобілях найчастіше встановлюються від п'яти до восьми балонів із стисненим газом. Маса восьми балонів становить понад 500 кг, тому потужність автомобіля зменшується. Пробіг такого автомобіля приблизно в два рази менше порівняно з пробігом автомобілів, що працюють на бензині або на скрапленому газі. Це запобігає широкому використанню стисненого газу під час експлуатації газових автомобілів.

Стиснені гази мають підвищену випаровуваність, тому спостерігається їх збільшена втрата. Крім того, вони мають підвищену пожежонебезпеку. Тим не менш, природний газ, перспективно використовувати в рідкому стані. Природний газ – це найдешевше паливо. Його доцільно використовувати в автомобілях з ізотермічними кузовами (рефрижераторами).

При використанні стиснутих газів особливу увагу слід приділяти вмісту вологи, оскільки вона викликає серйозні проблеми в роботі системи живлення.

#### **4.5 ГЕНЕРАТОРНИЙ ГАЗ. БІОГАЗ. СИНТЕЗ-ГАЗ**

**Генераторний газ.** Його отримують при переробці твердого палива з недостатністю повітря близько 60% в спеціальних пристроях – газогенераторах. В якості твердого палива використовують кам'яне або буре вугілля, дрова, торф, брикети з різних сільськогосподарських відходів (тирси, соняшникового лушпиння, льняної костри і т.п.). В залежності від виду твердого палива, що використовується для газифікації, склад генераторного газу варіюється в наступних межах: CO – 25...30%, H<sub>2</sub> – 12... 15%, CH<sub>4</sub> – 0,5...3,5%, CO<sub>2</sub> – 5...8%, O<sub>2</sub> – 0,2...0,5%, N<sub>2</sub> – 45...50%.

**Біогаз.** Це метаномісний газ, що утворюється при прискореному отриманні високоякісних органічних добрив, розроблено багато різних конструкцій анаеробних мікробіологічних реакторів для його видобутку. Вміст цетану в біогазі сягає 70%, а теплотворна здатність біогазу становить 20...25 МДж/кг. Біогаз можна використовувати у будь-яких теплових установках, адже зношування двигунів, що працюють на біогазі, менше порівняно із зношуванням двигунів, що працюють на бензині.

**Синтез-газ.** З метою виготовлення палив як сировина може використовуватись синтез-газ (суміш оксиду вуглецю та водню), що утворюється при деяких нафтохімічних процесах. Бензини синтезу потребують подальшої переробки з метою підвищення октанового числа. Дизельна фракція може використовуватись як високоцетановий компонент палива (дизельна фракція має високу температуру застигання, на що необхідно звертати увагу при виготовленні товарного палива).

Гази нафтопереробних та нафтохімічних заводів містять насичені та ненасичені вуглеводні. Методами синтезів таких газів одержують рідкі палива, зокрема, високооктанові компоненти: алкілати, ароматичні вуглеводні, метил-третично-алкілові ефіри (метил-трет-бутиловий з октановим числом 105/М та 118/Д і метил-трет-аміловий з октановим числом 99/М та 112/Д); бензини з октановим числом 81/М та 96/Д, полімер-бензин з октановим числом 82...85/М та 95...98/Д.

#### **4.6 ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ГАЗОПОДІБНИХ ПАЛИВ**

Газоподібні палива мають деякі переваги перед бензинами і дизельними паливами. Газобалонні автомобілі значно економічніші, ніж базові моделі, що працюють на рідкому паливі, головним чином за рахунок зниження витрати на моторну оливу, збільшення міжремонтного пробігу двигуна та меншої вартості палива.

Збільшення терміну служби моторної оливи в газових двигунах досягається за рахунок відсутності конденсації парів палива на стінках циліндра та у зв'язку з цим відсутності розрідження оливи. Тому термін служби оливи під час роботи двигуна на газі збільшується в 2...4 рази, а термін служби самого двигуна – в 1,5...2 рази.

У газових двигунах не відбувається змивання масляної плівки зі стінок циліндрів та поршнів, кількість нагарів та різних відкладень на стінках камери згоряння та у поршневій групі невелика. Внаслідок цього покращуються умови роботи двигуна, знижуються зношування деталей шатунно-поршневої групи.

Газоподібні палива мають високу детонаційну стійкість, внаслідок чого їх можна використовувати в двигунах внутрішнього згоряння з високими ступенями стиснення, а отже, і хорошими техніко-економічними показниками. Так, октанові числа, отримані дослідницьким методом, становлять: у етану 116,3; пропану 111,6; бутану 95,8 (див. табл. 4.1).

Істотна перевага газоподібного палива – незначне забруднення доквілля токсичними компонентами.

При роботі газового двигуна відбувається більш досконале сумішоутворення і повніше згоряння робочої суміші, ніж у бензинових двигунів. Внаслідок цього утворюється дуже невелика кількість продуктів неповного згоряння, які особливо шкідливі для здоров'я людини. Так, продукти згоряння газового двигуна, що працює в режимі холостого ходу, містять у 5 разів менше CO, ніж продукти згоряння бензинового двигуна в тому ж режимі.

Недолік газобалонних автомобілів – ускладнена система паливоподачі. Підвищуються також пожежні вимоги до приміщень під час технічного обслуговування та ремонту газобалонних установок через можливі витоки газу.

У всьому світі парк автомобілів, що працюють на нафтовому та зрідженому природному газі, постійно зростає. Зріджений природний газ можна застосовувати для виробництва екологічно чистих бензинів та дизельного палива з низьким вмістом ароматичних вуглеводнів та твердих частинок. Проте це не завжди економічно виправдано.

У деяких країнах світу налагоджено виробництво двопаливних автомобілів, що працюють як на рідкому, так і газоподібному паливі. Випускають також автомобілі, які використовують водень.

Слід зазначити, що в США, Великій Британії, Німеччині та інших країнах ведуться аналогічні роботи зі створення транспортних засобів на паливних елементах, що працюють на водні.

#### **4.7 СПИРТОВІ ПАЛИВА**

В останні роки спостерігається підвищений інтерес до використання спиртів як заміників нафтових палив або як добавку до них. Із спиртів нині найбільше практичне значення мають метанол ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) і етанол ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ). Ці палива за своїми

фізико-хімічними та експлуатаційними показниками найповніше відповідають характерним особливостям сучасних двигунів внутрішнього згоряння (табл. 4.5).

Таблиця 4.5 – Фізико-хімічні властивості нафтових і спиртових палив

Показник	Бензин	Дизельне паливо	Метанол	Етанол
Нижча теплота згоряння, МДж/кг	44,4	42,7	19,95	27,72
Густина при 20°C, кг/м <sup>3</sup>	710..760	830...860	796	794
Кінематична в'язкість, мм <sup>2</sup> /с при 20°C	0,52...0,63	1,5...6,0	0,758	1,52
Температура кипіння, °С	35...215	160...360	65	78
Температура займання, °С	430	210	470	420
Цетанове число	–	≥45	3	8
Октанове число (моторний метод)	76...98	–	95	94

Перспективність використання спиртів, особливо метанолу, зумовлена реальною можливістю добування їх за певною технологією виробництва на основі різноманітної сировинної бази. Метанол можна добувати з вугілля, природного газу та інших джерел, етанол – з відновлюваної рослинної сировини. Спирти можна транспортувати, зберігати й розподіляти так само, як і нафтові палива, вони більш прийнятні в екологічному аспекті, оскільки в разі їх використання вміст забруднень у відпрацьованих газах менший.

Однією з основних переваг спиртів є висока детонаційна стійкість, що дає змогу підвищити ступінь стиску, а отже, й індикаторний ККД двигуна. Порівняно з нафтовими паливами спирти характеризуються стійкішим згорянням, завдяки чому можуть працювати на бідних сумішах ( $\alpha=1,5...1,6$ ), що також підвищує економічність двигуна. Підвищенню потужності двигунів, які працюють на спиртах, сприяє також збільшення коефіцієнта наповнення внаслідок їх високої прихованої теплоти пароутворення та більшої щільності спиртоповітряних сумішей.

Разом з тим на відміну від вуглеводневих палив спирти мають меншу теплоту згоряння, що зумовлює більшу об'ємну їх витрату. Через високу теплоту випаровування їх пускові властивості нижчі, ніж бензину. Вони також корозійно-агресивні щодо металів і токсичні.

Ці властивості спиртів і визначають перспективу основних напрямків розвитку як моторобудування, так і паливного виробництва.

Великий досвід із застосування етанолу замість бензину накопичений у Бразилії, де для його добування є значні сировинні ресурси – цукрова тростина. Нині за сучасного рівня розвитку моторобудування стало цілком реальним використання добавок до бензину. Встановлено, що при добавленні 2...3% етанолу не потрібне спеціальне регулювання двигуна. У США та інших розвинених країнах вже використовується паливо під назвою газохол (суміш 10% етанолу і 90% бензину). Економічність двигунів у разі використання газохолу збільшується на 2...4%.

Для організації роботи двигуна на метанолі встановлена раціональна бензино-метанольна суміш, що містить 10...15% метанолу. Метанол є також компонентом ефективної добавки – метилтретбутилового ефіру (МТБЕ), використання якого дасть змогу виключити з бензину тетраетилсвинець, а з компонентного складу бензину вивільнити бензин каталітичного крекінгу, замінивши його на менш дорогий

дистилят прямої перегонки. На відміну від метанолу та етанолу МТБЕ практично не розшаровується у суміші з бензином, має високе октанове число та теплоту згоряння. Тому чим нижче октанове число вихідного бензину, до якого додається спирт, тим більший антидетонаційний ефект (табл. 4.6).

Таблиця 4.6 – Вплив етанолу на октанове число бензинів

Вміст спирту в суміші з бензином, % об.	Октанове число суміші	
	№ 1*	№ 2*
0	70	65
5	–	68
10	71,5	72,5
15	–	77
20	73	–

\* Примітка: Бензини №1 і №2, до яких додається спирт, мають різні октанові числа.

#### 4.7 БІОПАЛИВА

Біопаливами називають моторні палива, які отримують з відновлювальних, в основному рослинних джерел сировини. В останні роки виробництву і використанню біологічних палив приділяється значна увага. Для виробництва цього виду палива використовують різноманітні олійні культури (соя, ріпак та ін.), а також відходи виробництва тваринних жирів. Найбільш часто для виробництва біопалива використовують ріпакову олію, яка складається з складних ефірів гліцерину і вищих насичених і ненасичених карбонових кислот.

Ріпакова олія має високу температуру плавлення, і тому її піддають гідролізу з отриманням гліцерину і суміші жирних кислот. Цю суміш етерифіцирують метанолом з отриманням метилових ефірів жирних кислот ріпакової олії – біодизельне паливо, яке можна використовувати як таке або у вигляді різних композицій з традиційним нафтовим паливом.

Введення до 10% біодизельного палива практично не впливає на фізико-хімічні та експлуатаційні властивості нафтового дизельного палива, при більшому вмісті виникає необхідність в додаванні депресорних присадок.

Основні фізико-хімічні і експлуатаційні властивості біодизельного палива і його суміші з нафтовим дизельним паливом наведені в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Властивості біодизельного палива і його сумішей з нафтовим дизельним паливом

Показники	Нафтове дизельне паливо	Біодизельне паливо	Кількість біодизельного палива в суміші, %			
			5	20	30	50
Густина, кг/м <sup>3</sup> при 15°C	828	884	833	840	848	858
Цетановий індекс	51	51	51	51	51	51
Нижча теплота згоряння, МДж/л	35,5	32,9	35,3	35,0	34,7	34,2
В'язкість, мм <sup>2</sup> /с при 40°C	2,2...2,9	4,5	2,4	2,6	2,7	3,1
Температура спалаху, °C	73	188	75	76	78	83

В США запропоновані два види палива для дизелів: В100 з 100% кількістю біодизельного палива і В20 – нафтове дизельне паливо з 20% біодизельного палива.

При використанні біодизельного палива і його сумішей з нафтовим паливом не потрібна реконструкція обладнання резервуарів, баків, транспортних комунікацій на відміну від застосування інших видів альтернативних палив. Характеристики дизельного двигуна при роботі на біодизельному паливі і традиційному нафтовому паливі практично аналогічні.

Двигуни, які працюють на біодизельному паливі, менше виділяють сажу, оксиди вуглецю і менш токсичні в порівнянні з двигунами, що використовують нафтове паливо.

#### 4.8 ВОДЕНЬ ЯК ПАЛИВО

Використання водню як палива вимагає більш тривалого часу для вирішення ряду проблем. Це передусім – розміщення водню на автомобілі. Використання водню в газоподібному стані вимагає мати балони великої маси і великого об'єму. Водень у рідинному стані може зберігатись в криогенних апаратах при температурах мінус 252,8°C і нижче. Зберігання водню в металогідридних акумуляторах не дає можливості накопичувати його в достатній кількості, бо ємність акумуляторів мала при загальній великій масі.

Дуже велика швидкість згоряння водню викликає великі теплові і механічні навантаження в деталях двигуна. Мала енергія, необхідна для займання, може викликати некероване самозаймання палива. Водень спроможний проникати через товщу металу, з підвищенням температури і тиску дифузія водню в метали підвищується. Рідкий водень може викликати розклад деяких металів. Воднево-повітряна суміш має велику межу займання (4...75% об.) і вибухонебезпечності (18,3...74% об.).

Водень дуже відрізняється від традиційних палив за фізико-хімічними показниками якості (табл. 4.8). Він має найвищу теплоту згоряння з усіх традиційних і альтернативних палив, по масовій енергоємності водень перевищує нафтові палива у 2,5...3 рази, спирти – у 5...6 разів. Водень запалюється в суміші з повітрям в широкому діапазоні, включно до коефіцієнту надлишку повітря 10, тому водень забезпечує сталу роботу двигуна на всіх швидкісних режимах при складі суміші від  $\alpha=0,2$  до  $\alpha=5$ . Згоряння водневоповітряних сумішей відбувається практично при постійному об'ємі (у стехіометричній області); високі швидкості згоряння різко підвищують тиск.

Таблиця 4.8 – Показники якості водню і бензину

Показники	Бензин	Водень
Щільність при 15°C, г/см <sup>3</sup>	0,7...0,8	0,07
Температура кипіння, °C	30...205	252,8
Температура застигання, °C	-60...-80	259,1
Теплота згоряння нижча, МДж/кг	~ 42,70	76,27
Теплота випаровування, кДж/кг	180...300	450
Коефіцієнт заміності щодо нафтового палива, п/п	1	0,57
Умови зберігання	Звичайні	-253°C і нижче

Це іноді провокує зворотні потрапляння полум'я у впускний колектор, передчасне займання паливних сумішей. Вдосконалення системи паливоподачі може ліквідувати ці недоліки. Для зменшення температури робочого циклу необхідне вдосконалення конструкції самого водневого двигуна.

Відпрацьовані гази водневих двигунів мають значно меншу кількість токсичних сполук порівняно з токсичністю відпрацьованих газів бензинових двигунів.

Одним з недоліків водневого палива є підвищений вміст оксидів азоту у відпрацьованих газах. Іншим недоліком водневих двигунів є можливість утворення пероксиду водню  $H_2O_2$ , при згорянні водню. Пероксид водню у відпрацьованих газах додатково забруднює оточуюче середовище. Для його розкладу до води та кисню на автомобілях необхідно монтувати додаткові перетворювачі (термічні чи хімічні).

Використання високооктанових бензинів вимагає збільшення виготовлення високооктанових компонентів, а виснаження природних копалин вимагає все більшого застосування різних добавок до нафтових палив, але при розробці і використанні альтернативних палив слід враховувати економічні та екологічні питання, а також проводити хімотологічне обґрунтування їх ефективного застосування.

#### **4.9 ТОПОЧНІ МАЗУТИ**

Топочні мазути, що є продуктами переробки нафти, горючих сланців і кам'яного вугілля, використовують у котельних установках. Головний показник якості мазуту – в'язкість покладено основою його маркування. За в'язкістю визначають спосіб і тривалість зливних та наливних операцій, умови транспортування та ефективність роботи форсунок. В'язкість впливає на швидкість осадження механічних домішок при зберіганні, транспортуванні та підігріві мазуту, а також на ступінь відокремлення його від води (при відстоюванні).

Щільність мазуту при  $20^{\circ}C$  коливається від 920 до  $1015 \text{ кг/м}^3$ . У поєднанні з в'язкістю вона визначає умови відстоювання мазутів та осадження механічних домішок. Якщо щільність мазуту менша за щільність води, його відстій відбувається за 100...200 год; при щільності  $980... 1010 \text{ кг/м}^3$  час відстою перевищує 200 год, а при щільності близько  $1050 \text{ кг/м}^3$  мазут розташовується в резервуарах нижче за воду і відстій його стає неможливим.

Малосернисті топочні мазути містять до 0,5% сірки, сірчисті – до 2%, високосірчисті – до 3,5%. У процесі спалювання мазуту сірчисті сполуки, що містяться в ньому, згоряють з утворенням в основному діоксиду сірки ( $SO_2$ ) і в дуже невеликій кількості триоксиду сірки ( $SO_3$ ). Ці сполуки за наявності вологи в топкових газах утворюють кислоти, що викликають підвищену корозію металевих поверхонь димових труб, економайзерів та інших деталей котлів.

До сільського господарства надходять топкові мазути марок 40 і 100, які призначені для котельних установок. Нижча теплота згоряння у перерахунку на сухе паливо для малосірчистого мазуту марки 40 становить  $40,74 \text{ МДж/кг}$ , марки 100 –  $40,53 \text{ МДж/кг}$ , а для сірчистого обох марок  $39,9 \text{ МДж/кг}$ . Температура застигання мазуту марки 40 має бути вищою  $10^{\circ}C$ , а марки 100 – не вищою  $25^{\circ}C$ .

#### 4.10 ПІЧНЕ ПОБУТОВЕ ПАЛИВО

Пічне побутове паливо одержують із дизельних фракцій як прямої перегонки нафти, так і вторинного походження – дистилятів термічного, каталітичного крекінгу та коксування.

У пічному паливі не містяться сірководень, водорозчинні кислоти та луки, а також механічні домішки (табл. 4.9).

Таблиця 4.9 – Характеристика пічного побутового палива

Показник	Значення
Фракційний склад:	
10% переганяється при температурі, °С, не нижче	160
90% переганяється при температурі, °С, не вище	360
Кінематична в'язкість при 20°С, мм <sup>2</sup> /с, не більше	8
Температура застигання, °С, не вище:	
з 1 вересня до 1 квітня	-15
з 1 квітня до 1 вересня	-5
Температура спалаху в закритому тиглі, °С, не нижче	45
Масова частка сірки, %, не більше:	
у малосірчистому паливі	0,5
у сірчистому паливі	1,1
Випробування на мідній пластинці	Витримує
Кислотність, мг КОН/100 см <sup>3</sup> палива, не більше	5
Зольність, %, не більше	0,02
Коксівність 10%-го залишку, %, не більше	0,35
Вміст води	Сліди
Колір	Від світло-коричневого до чорного
Щільність при 20 °С, кг/м <sup>3</sup>	Не нормується, визначення обов'язкове

Пічне побутове паливо має ширший фракційний склад порівняно з дизельним паливом. Температура застигання -15°С ускладнює його використання за низьких температур. У період з 1 квітня до 1 вересня допускається застосовувати палива з температурою застигання не вище -5°С.

Пічне побутове паливо широко використовують у сільському господарстві для роботи парових і водогрійних котлів, теплогенераторів, зерносушарок та ін. При роботі на пічному побутовому паливі в зимовий період можлива втрата його плинності на лінії подачі палива в теплогенеруючі установки, а також забиття парафінами паливних фільтрів. Тому резервуари, в яких зберігається пічне паливо, та баки, звідки воно надходить до установок для спалювання, слід розміщувати в утеплених приміщеннях. Для покращення низькотемпературних властивостей пічного побутового палива застосовують депресорні присадки, синтезовані на основі сополімеру етилену з вінілацетатом.

#### 4.11 ТВЕРДЕ ПАЛИВО

Тверде паливо, що використовується в сільськогосподарському виробництві, ділять на природне (вироблене вугілля, торф, відходи деревини сільськогосподарського виробництва) та штучне (різні брикети, деревне вугілля). У різних зонах країни широко застосовують палива місцевих видів. У твердому паливі у великій кількості міститься баласт, який різко знижує його теплову цінність.

Вироблене вугілля буває двох основних видів: гумусове, що утворилося з вищих наземних рослин (в основному деревини), і сапропелітове, що утворилося з водних рослин і водоростей, багатих жирами і воском. Широко поширене вугілля змішаного походження. Залежно від ступеня зміни органічної речовини, або від «хімічного» віку, вугілля поділяють на буре, кам'яне та антрацити.

Вугілля класифікують за розмірами шматків: плита – розмір шматків понад 100 мм, великий – 50... 100, горіх – 25...50, дрібний – 13...25, насіння – 6... 13, штиб – менше 6 мм.

**Буре вугілля** є бурою землістою або чорною однорідною масою, яка при зберіганні окислюється і розсипається в порошок. Буре вугілля має високу зольність (15...30%) і вологість (15...50%), тому діапазон значень його теплоти згоряння дуже великий (8,4...18,8 МДж/кг). Воно легко спалахує і горить довгим полум'ям, що коптить. Буре вугілля схильне до окислення і самозаймання, тому його рекомендують укладати в штабелі заввишки не більше 2,5 м і зберігати не більше місяця, щоб уникнути можливого самозаймання.

Склад бурого вугілля дуже неоднорідний: вуглець –  $C^r=65...78\%$ , водень –  $H^r = 4,3...6,2$ , кисень –  $O^r = 16...27$ , нітроген –  $N^r = 0,7... 1,8$ , сірка –  $S^r = 0,4...3,9\%$ . Вихід летких речовин на пальне становить 40...50 %, а в деяких видах вугілля доходить до 60 %. Класифікують його в залежності від розмірів шматків: бурий крупний (БК), бурий горіх (БГ), бурий дрібний (БД), буре насіння зі штибом (БНШ) і бурий рядовий (БР).

**Кам'яне вугілля** має чорний колір і відрізняється від бурого меншим вмістом золи та вологи. Склад органічної маси кам'яного вугілля також неоднорідне:  $C^r = 78...90\%$ ,  $H^r = 4...5,8$ ,  $O^r = 3...15$ ,  $N^r = 0,5...2$ ,  $S^r = 1...6$ , зола – 15...27, вода – 4...12%. Нижча робоча теплота згоряння коливається від 20,73 до 31,4 МДж/кг.

Розрізняють кам'яне вугілля шести марок. Вугілля, спрямоване на термічну переробку для отримання смоли та газу, маркують Д (довгополум'яні) та Г (газові). Вони мають понад 35% летких речовин. Вугілля, що йдуть на переробку з метою отримання металургійного коксу, позначають К (коксівні) і Ж (жирні). Вугілля, що використовується як паливо, позначають СС (схудлі що спекаються) і Х (худі).

Застосовують також кам'яне вугілля, придатне для спалювання в ковальських горнах. Ці вугілля повинні містити не більше 20% летких сполук, невелику кількість сірки, мати теплоту згоряння 25...27 МДж/кг і мати здатність спекатися, тобто при розкладанні без доступу повітря утворювати кокс у вигляді шматків, а не порошок. Таке вугілля зазвичай називають ковальським.

**Антрацит** є різновидом кам'яного вугілля і містить вуглецю 96,5 %. Він має чорний колір з сіруватим відтінком, має високу щільність і міцність. В антрациті міститься невелика кількість води (3...5%), золи (10...15%) та летких речовин (2...9%). Теплота згоряння антрациту найвища серед виробленого вугілля – 25...27 МДж/кг, інколи 30 МДж/кг.

Антрацити маркують за розміром шматків: АП – плитний; АК – крупний; АГ – горіх; АД – дрібний; АН – насіння; АШ – штиб.

**Сланці** характеризуються високим вмістом золи (50...60%) та вологи (15...20%). У горючій частині сланців міститься велика кількість водню (до 10%), а вихід летких речовин досягає 90%, тому вони легко спалахують. Теплота згоряння сланців невисока і становить 5,8...10,8 МДж/кг. У сільському господарстві сланці використовують як котельне паливо.

**Торф** утворився в результаті розкладання рослинних залишків в умовах надлишку вологи та незначного доступу повітря. Якщо торф утворився з рослинності, багатой мінеральними солями (осоки, тростини, очерету), його називають луговим чи низинним. Він містить 8...16% золи. Якщо торф утворився з рослинності, бідной мінеральними солями, його вважають моховим, чи верховим, вміст золи у ньому 2...4 %.

Є торфовища змішаного походження, зольність яких 7...9%. Торф є однорідною масою від жовтого до темно-коричневого кольору, вологість якої 85...95%.

Торф є оборотним колоїдом, тобто при висушуванні він виділяє воду, а намокаючи, поглинає її знову. Якщо вологий торф висушити до вмісту вологи нижче 34%, він перейде в незворотний колоїд. Повітряно-сухий торф зручний для транспортування. Його можна зберігати за будь-якої погоди, тому що він не змінює форму і не поглинає воду, а лише злегка намокають верхні шари. Органічна маса торфу характеризується наступним складом:  $C^r = 55...56\%$ ,  $H^r = 5...6$ ,  $O^r = 35...40$ ,  $N^r = 0,5...3$ ,  $S^r = 0,12...1,5\%$ . Найнижча теплота згоряння горючої маси торфу становить близько 12,6 МДж/кг. Торф широко використовують як паливо для теплових установок та побутових потреб, а також як добриво та підстилку для худоби.

**Деревина** містить понад 60% целюлози, близько 30% лігніну та близько 1% мінеральних солей. Елементний склад органічної частини деревини:  $C^r = 50\%$ ,  $H^r = 6$ ,  $O^r = 43$ ,  $N^r = 1\%$ . Основним баластом в паливі цього виду є волога, вміст якої в свіжозрубаний деревині досягає 50...60%.

Дрова бувають сухі (вологість менше 25%), напівсухі (25...30%), сирі (понад 35%). До сухих відносять дрова, заготовлені в осінній або зимовий період і пролежали в чорницях не менше року: до напівсухих – не менше 6 міс; до сирих – менше 6 місяців після рубки. Теплота згоряння паливної маси деревини становить 18,8...19,2 МДж/кг, проте за вологості 30% вона знижується до 13,3 МДж/кг.

Теплоту згоряння (кДж/кг) дров різної вологості можна розрахувати за формулою:

$$Q_H^P = 18422 - 50W^P.$$

Теплота згоряння дров з деревини різних порід коливається в невеликих межах, проте маса 1 м<sup>3</sup> твердих порід у 1,6...1,8 разів більша за м'які. Дрова відпускають споживачеві за обсягом, а не за масою, тому перевагу віддають твердим породам деревини. З урахуванням твердості деревини дрова по теплоті згоряння ділять на чотири групи: 1 – дуб, граб, ясен, клен, бук – їх тепловий еквівалент ТЕ = 1,2; 2 – береза, модрина – ТЕ = 1; 3 – вільха, сосна, кедр, ялиця – ТЕ = 0,8; 4 – верба, осика, тополя, липа – ТЕ = 0,7.

Сільськогосподарські відходи використовують для виробничих та побутових потреб, особливо у районах де нема лісів. До відходів відноситься солома, соняшникове лушпиння, костра, стебла соняшнику, рисова луска і т.п. За складом органічної маси ці відходи найближчі до деревини.

**Деревне вугілля** отримують у результаті сухої перегонки деревини за нормальної температури 400...450°C без доступу повітря. Органічна маса такого вугілля містить 75% вуглецю, 4% водню, 20% кисню та азоту. Його зольність становить близько 1%, вологість 10%. Найнижча теплота згоряння деревного вугілля 27 МДж/кг.

**Штучне паливо** отримують фізико-механічними методами (сортування, збагачення, сушіння, брикетування та ін.) та фізико-хімічними (суха перегонка, напівкоксування, коксування та ін.). Брикети одержують із відходів сільськогосподарського виробництва із застосуванням сполучної речовини в пресах при тиску 100...150 МПа (холодне брикетування). При гарячому брикетуванні торфу, пилу та крихти вугілля сполучною речовиною служить смола, що виділяється ними при нагріванні. Тиск такого брикетування 25...30 МПа, температура 260...320 °C.

#### 4.12 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Який склад та властивості мають скраплені газ?
2. Розкажіть про стислий природний газ
3. Розкажіть про генераторний газ
4. Розкажіть про біогаз. Як отримують та використовують?
5. Розкажіть про синтез-газ
6. Перерахуйте особливості застосування газоподібних палив.
7. Які основні експлуатаційно-технічні властивості газових палив?
8. Назвіть перспективні екологічно чисті види палива.
9. В чому полягає основна причина розробки альтернативних палив та які їх сировинні джерела ?
10. Які експлуатаційні властивості спиртів, ефірів та інших альтернативних палив?
11. У яких установках використовують паливні мазути?
12. Назвіть марки топкових мазутів, які у сільське господарство?
13. У яких установках сільськогосподарського призначення застосовують побутове пальне?
14. Яка теплота згоряння у пічного побутового палива?
15. Які тверді палива використовують у сільськогосподарському виробництві?
16. Який склад бурого вугілля?
17. Назвіть сільськогосподарські відходи, які використовуються для опалення виробничих приміщень та побутових потреб.
18. Розкажіть про отримання штучного палива.

## ЛЕКЦІЯ 5. МОТОРНІ ОЛИВИ

План лекції:

- 5.1 Основні види тертя та зношування
- 5.2 Експлуатаційні властивості моторних олив
- 5.3 Базові оливи
- 5.4 Присадки до олив
- 5.5 Вітчизняна класифікація моторних олив
- 5.6 Закордонні класифікації моторних олив
- 5.7 Зміна якості моторних олив при експлуатації двигунів
- 5.8 Контрольні питання

### 5.1 ОСНОВНІ ВИДИ ТЕРТЯ ТА ЗНОШУВАННЯ

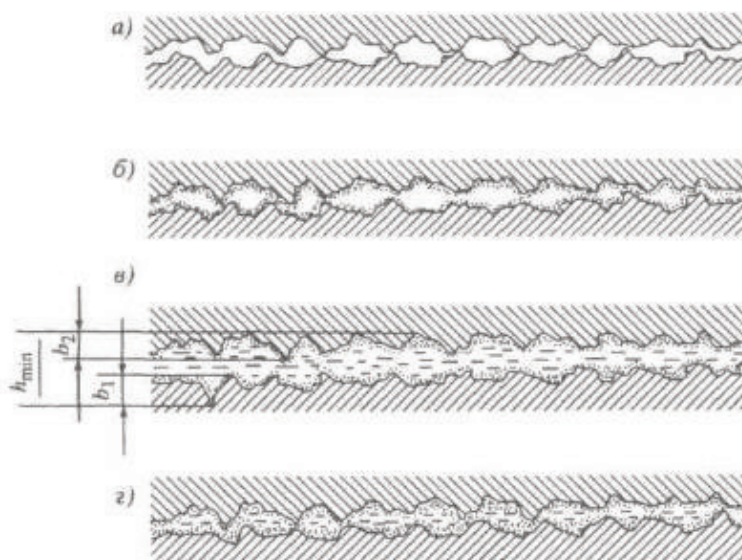
Під *тертям* (зовнішнім) розуміють опір відносному переміщенню, що виникає між двома тілами в зонах дотику поверхонь по дотичних до них.

*Зменшення втрат на тертя та зниження інтенсивності зношування поверхонь деталей – основне призначення мастильних матеріалів.*

За характером взаємопереміщення деталей, що труться, розрізняють два види тертя: *тертя спокою* – тертя двох тіл при попередньому зміщенні і *тертя руху* – тертя двох тіл, що знаходяться в відносному русі.

Тертя руху в свою чергу підрозділяється за характером руху (тертя ковзання і тертя кочення) і за наявністю мастильного матеріалу (тертя без мастила, граничне тертя і рідинне тертя). Тертя ковзання виникає при русі дотичних тіл, у яких швидкості в точках торкання різні. При терті кочення швидкості в точках торкання однакові за величиною та напрямом. Тертя кочення з проковзуванням виникає при одночасному коченні і ковзанні тіл, що стикаються.

Тертя без мастила – це тертя двох твердих тіл за відсутності на поверхнях тертя введеного мастильного матеріалу (рис. 5.1).



*a - тертя без мастила; б - граничне тертя; в - рідинне тертя; г - змішане тертя.*

Рисунок 5.1 – Види тертя за наявністю мастильного матеріалу

Граничне тертя виникає в тому випадку, коли поверхні тертя розділені шаром мастила настільки малої товщини (менше 0,1 мкм), що властивості цього шару відрізняються від об'ємних властивостей, а сила тертя залежить тільки від природи і стану поверхонь, що труться.

При рідинному терті мастильний шар повністю відокремлює робочі поверхні, що взаємопереміщаються одну від іншої і має товщину, при якій проявляються нормальні об'ємні властивості мастила.

До причин витрат енергії на тертя без мастила відносять:

- механічне зачеплення нерівностей (шорсткостей) однієї поверхні, що треться, за нерівності іншої при їх переміщенні;
- сили міжмолекулярного тяжіння;
- явище зварювання пар, що труться – окремих гострих виступів в умовах високих питомих тисків і значному виділенні тепла, що може призвести до катастрофічного зношування деталей.

Згідно формули Амонтона, сила тертя ковзання  $F$  пропорційна нормальному навантаженню  $P$ :

$$F=f \cdot P$$

де  $f$  – коефіцієнт тертя (його значення залежить від виду матеріалів, що труться, якості обробки їх поверхонь і становить зазвичай 0,1...0,8, а при терті міді по міді – 1,3).

Сила тертя кочення приблизно в десять разів менша за силу тертя ковзання не змащених поверхонь (кулька або ролик стикається з поверхнею в точці або по лінії). Застосувати підшипники кочення вдається не скрізь, і, крім того, у реальних механізмах переважає тертя з ковзанням, що значно збільшує коефіцієнт тертя.

Коефіцієнт граничного тертя перебуває у межах 0,08...0,15. Режим граничного тертя дуже нестійкий, це межа працездатності вузла тертя. Якщо граничний шар руйнується – навантаження перевищить сили зчеплення, у місці контакту виникає сухе тертя і, як наслідок, задири, заклинювання та ін. неполадки аварійного характеру.

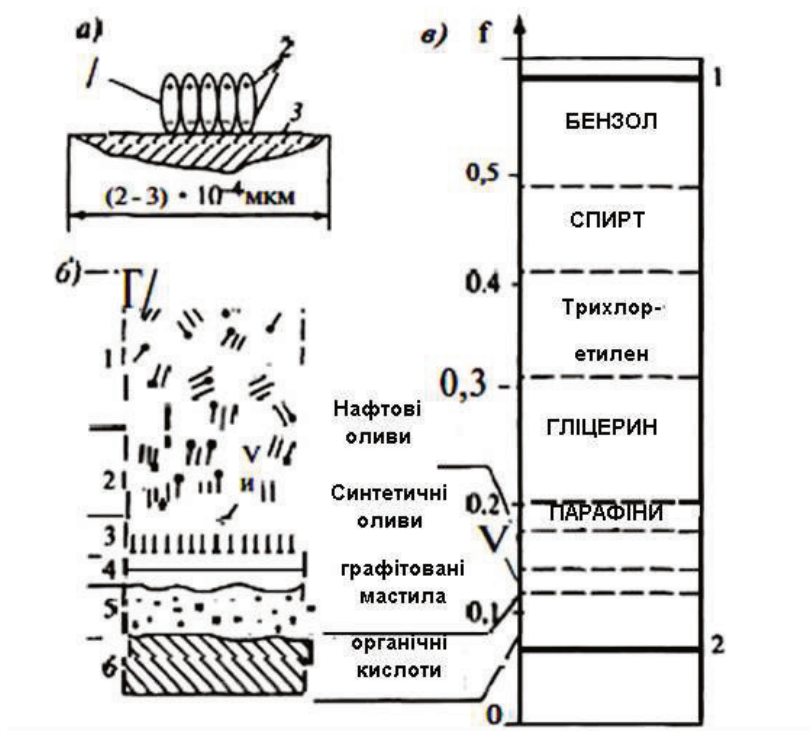
Встановлено, що товщина і міцність граничних шарів залежить від хімічного складу оливи і присадок, що входять до нього, особливостей хімічної структури і стану поверхні тертя. З іншого боку, поведінка граничних шарів залежить від в'язкості, а визначається взаємодією молекулярних плівок оливи з поверхнею металу. Розрізняють плівки хімічного походження (хемосорбція) та фізичного (адсорбція).

Створення мастильних плівок силами адсорбції обумовлюється наявністю в мастильних матеріалах поверхнево-активних речовин (ПАР), що несуть електричний заряд. Вони мають здатність адсорбуватися на поверхнях розділу рідина - тверде тіло. Здатність мастильних матеріалів, що містять ПАР, утворювати на поверхнях, що змащуються, досить міцні шари орієнтованих молекул, зазвичай називають **маслянистістю або змащувальною здатністю оливи**. До полярних відносяться сполуки, що містять карбоксильні групи, спирти, різні ефіри, смоли, сірчисті сполуки. У деякі оливи для поліпшення їх змащувальної здатності вводять протизносні та протизадирні присадки (рис. 5.2).

Велика швидкість утворення хемосорбованих плівок забезпечує їх швидке відновлення у місцях руйнування граничного шару. Стійкі хімічні плівки фосфатів, хло-

ридів або сульфідів створюються на поверхні металу завдяки присутності у мастильних матеріалах відповідних хімічних елементів. До плівок цього типу відносять також різні мила, що утворилися з вищих органічних кислот, що знаходяться в оливі.

Як адсорбовані, так і хемосорбовані плівки, володіючи деякою міцністю і стійкістю, захищають поверхні тертя від механічних і теплових впливів, перешкоджають взаємній адгезії поверхонь, що труться.



*a* - моношар полярних молекул (ПАР) карбоксильної групи (COOH) + на поверхні в мікрзоні матеріалу, що має позитивний заряд; 1 - моношар полярних молекул; 2 - диполь; 3 - поверхня металу; *б* - загальна орієнтація полярних та неполярних молекул рідини в межовому шарі товщиною до 1 мкм: 1 - рідина; 2 - гранична фаза; 3 - адсорбований моношар; 4 - хімічні сполуки (хемосорбована гранична плівка); 5 - зона деформованого металу; 6 - метал; *в* - шкала маслянистості: 1 - мінімальна маслянистість; 2 - максимальна маслянистість.

Рисунок 5.2 – Схема структури поверхневого шару та шкала маслянистості (по Б.В. Дерягіну)

Коефіцієнт рідинного тертя знаходиться в межах 0,003...0,03, а сила тертя в цьому випадку, що визначається лише внутрішнім тертям шарів у мастильному матеріалі, в 50...100 разів менше, ніж при терті без мастила. Стійкість мастильного шару, необхідного для рідинного тертя, залежить від наступних факторів: конструкції вузла тертя, швидкості взаємного переміщення поверхонь, що труться, питомого тиску на них, в'язкості мастильного матеріалу, площі поверхонь, що труться, величини зазору між ними, температурного стану вузла тертя і ін. Залежності ілюструються процесами, відображеними на рис. 5.3.

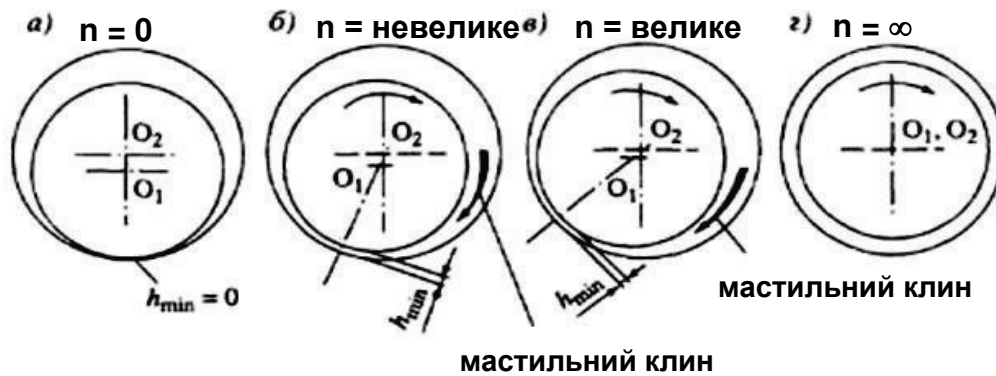


Рисунок 5.3 – Утворення мастильного клину під час обертання валу в підшипнику

Обертаючись у підшипнику ковзання, вал захоплює мастило, що знаходиться в зазорі, і там де величина зазору менше ( $h_{min}$ ), виникає тиск, під дією якого вал наче спливає в мастильному шарі, яким заповнюється зазор.

Зі збільшенням числа обертів "клинова дія" мастильного шару зростає: вал все більше прагне зайняти центральне положення в підшипнику (рис. 3, а, б, в, г), і величина  $h_{min}$  зростає.

Сила тертя концентрично розташованого валу в підшипнику розраховується за формулою Н.П. Петрова – творця гідродинамічної теорії змащення. У спрощеному варіанті сила рідинного тертя виглядає так:

$$F = \eta \frac{Sv}{h},$$

де  $\eta$  – абсолютна в'язкість мастила, Н с/м<sup>2</sup>;  $S$  – площа зіткнення тіл, що труться, м<sup>2</sup>;  $v$  – швидкість переміщення поверхонь, що труться, м/с;  $h$  – товщина змащувального шару, м.

Для визначення величини мінімального зазору у підшипнику встановлена наступна залежність:

$$h_{min} = \eta \frac{Cv}{P},$$

де  $C$  – коефіцієнт, що враховує конструкцію підшипника;  $P$  – тиск на поверхні, що труться.

Витримування закономірності:

$$h_{min} \triangleright 1,5(\delta_1 + \delta_2)$$

де  $\delta_1$  та  $\delta_2$  – максимальні висоти виступів на поверхнях тертя (рис. 1, в) забезпечують стійке та надійне рідинне тертя.

**Для будь-яких пар поверхонь, що труться, в'язкість мастила повинна бути найменшою, але в той же час забезпечувати рідинне тертя.** Так, для підшипника колінчастого валу двигунів внутрішнього згорання вона має бути не менше 4-5 мм<sup>2</sup>/с. У реальних умовах експлуатації може виникнути граничне тертя, а при пуску двигуна, високих робочих температурі та навантаженні – напіврідинне тертя. Під ним розуміють такий стан, коли мастило в зазорі між парами, що труться, недостатньо для повного забезпечення рідинного тертя. При цьому вигляді тертя мастильний шар між поверхнями, що труться, частково зруйнований, в результаті чого в окремих місцях дотику тертьових поверхонь і виникає граничне (сухе) тертя. У цьому випадку мастило, що володіє високою змащувальною здатністю, максимально зменшує тертя і знос, а також запобігає заїданню деталей, що труться.

Напіврідинний вид тертя спостерігається нерідко (наприклад, поршень-циліндр). У певних умовах (запуск та зупинка двигуна, різкі коливання швидкості та навантаження, високі температура та питомий тиск, недостатні в'язкість оливи та її подача) вузли тертя, розраховані на роботу при рідинному мастилі, якусь частину часу змушені працювати при напіврідинному. Рідинне тертя нерідко також порушується при попаданні в оливу абразивних механічних домішок.

**Зношування поверхонь, що труться** – це зміна розмірів деталей в результаті відділення матеріалу з поверхонь тертя і внаслідок залишкової деформації поверхневого шару. Розрізняють такі види зношування (за характером руйнування деталей): механічне, молекулярно-механічне та корозійно-механічне.

**Механічне зношування**, що виникає в результаті механічних впливів, поділяють на абразивне, гідроабразивне, газоподібне, ерозійне, втомне, кавітаційне.

Абразивне зношування найбільш поширене. Воно є результатом на поверхні тертя щодо більш твердих частинок, наприклад таких, як продукти зносу, нагар, пил і т.п. Навіть незначна кількість абразивних частинок, що потрапили в двигун, може призвести до дуже швидкого зносу деталей, що труться.

Гідроабразивне зношування так само, як і газоабразивне, – результат дії твердих частинок, що захоплюються відповідно рідиною або газом.

Втомне зношування є наслідком повторного деформування мікрооб'ємів матеріалу, через який виникають тріщини і відбувається відділення частинок.

Ерозійне зношування спостерігається при дії на поверхню тертя рідини або газу.

Кавітаційне зношування виникає в умовах кавітації.

Коли механічне зношування доповнюється впливом молекулярних чи атомних сил, такий вид зносу називають **молекулярно-механічним**. У цьому випадку відбувається місцеве з'єднання (зварювання) двох твердих тіл, перенесення металу з однієї поверхні на іншу із глибинним вириванням металу.

Звідси заїдання деталей та задири.

**Корозійно-механічне зношування** визначають як вплив на поверхні, що труться, таких агресивних речовин, як хімічно активні гази, кислотні домішки мастильних та інших матеріалів, з подальшим механічним стиранням пошкоджених ділянок поверхні.

До причин, від яких залежать виникнення будь-якого виду зношування та його інтенсивність, можна віднести такі:

- вплив властивостей матеріалу тертьових деталей;
- конструкція та технологія виготовлення вузла або деталі;

- режим роботи;
- умови експлуатації автомобілів;
- якість палива та особливо мастильного матеріалу.

**Основні функції, які виконують мастильні матеріали в різних агрегатах автомобілів – це зниження тертя і зносу деталей, що труться.**

При роботі двигуна можуть спостерігатися різні режими змащення (табл. 5.1)

Ці режими реалізуються за певних умов, що залежать від таких параметрів процесу змащення, як в'язкість оливи, швидкість переміщення поверхонь, що рухаються, і прикладене питоме навантаження.

Таблиця 5.1 – Режими змащення двигуна

Режими змащення	Коефіцієнт тертя
Рідинний (гідродинамічний)	0,002 – 0,01
Напіврідинний (змішаний)	0,01 – 0,2
Граничний:	
змащені поверхні	0,05 – 0,4
незмащені поверхні (окислені)	0,2 – 0,8

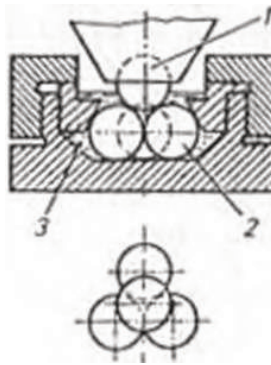
## 5.2 ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ МОТОРНИХ ОЛИВ

Моторна олива повинна надійно і довго виконувати свої функції, забезпечуючи заданий ресурс двигуна. **Основні функції моторної оливи** в двигунах – зменшення тертя між поверхнями деталей, що труться; зниження зносу тертьових поверхонь і запобігання їх заїдання; охолодження деталей; додаткове ущільнення поршневих кілець, що знижує прорив газів з камери згоряння в картер двигуна; захист деталей від корозії та забруднення вуглецевими відкладеннями.

До експлуатаційних властивостей моторних олив відносять в першу чергу ті, від яких залежать втрати енергії на тертя, знос поверхонь, що труться, утворення відкладень у двигуні, корозія деталей і пуск двигуна при низькій температурі. Головними з них є: змащувальні та в'язкісно-температурні властивості, термоокислювальна стабільність, миючі, антиокислювальні та антикорозійні властивості.

**Змащувальні властивості.** Під цією назвою об'єднано кілька властивостей оливи, що впливають на процеси тертя і зношування поверхонь деталей, що труться, в двигунах. Основні з них: антифрикційні – впливають на втрати енергії при терті поверхонь; протизносні – зменшують знос поверхонь деталей, що труться при помірних навантаженнях; протизадирні – оберігають поверхні тертя від задирів в умовах високих навантажень. Головний показник змащувальних властивостей оливи – в'язкість. Крім того вона основний параметр моторних оливи, за яким їх маркують та класифікують.

Протизносні властивості оливи залежать від її хімічного складу та в'язкісно-температурної характеристики, а також від якості присадок. Наявність в оливі абразивних забруднень істотно впливає на знос поверхонь, що труться. Трибологічні характеристики оливи – **індекс задира, критичне навантаження та показник зносу** при постійному навантаженні визначають за ДСТУ ГОСТ 9490–75 на чотирикульковій машині тертя (рис. 5.4).



1 - верхня кулька; 2 - нижня кулька; 3 - досліджувана олива.

Рисунок 5.4 – Чотирикулькова машина тертя

На кульку 1, що закріплена у шпинделі, що обертається з великою швидкістю, діє вертикальне навантаження. Вузол тертя поміщають у посудину з оливою. В результаті тертя на кульках утворюються сліди зношування: на верхньому смуга, а на нижніх – плями. Оціночними показниками змащувальних властивостей оливи є: діаметр плями зносу ( $D_n$ ), критичне навантаження ( $P_k$ ), навантаження зварювання ( $P_z$ ) та індекс задира ( $I_z$ ).

Найдостовірніший метод оцінки протизносних і протизадирних властивостей – випробування оливи в реальних вузлах тертя двигунів. При випробуванні протизносні та протизадирні властивості олив оцінюють за втратою маси поршневих кілець, задиром або піттингом кулачків і штовхачів, лінійного зносу цих деталей і циліндрів, станом поверхонь тертя.

**В'язкісно-температурні властивості.** Від в'язкості моторної оливи при робочих температурах в двигуні залежать якість змащування поверхонь деталей, що труться, і їх знос. В'язкість моторної оливи, у свою чергу, залежить від температури, зі збільшенням якої вона знижується, а зі зменшенням підвищується (рис. 5.5). Інтенсивність зміни в'язкості при зміні температури у різних моторних олив різна. Крутизну в'язкісно-температурної кривої оцінюють за індексом в'язкості.

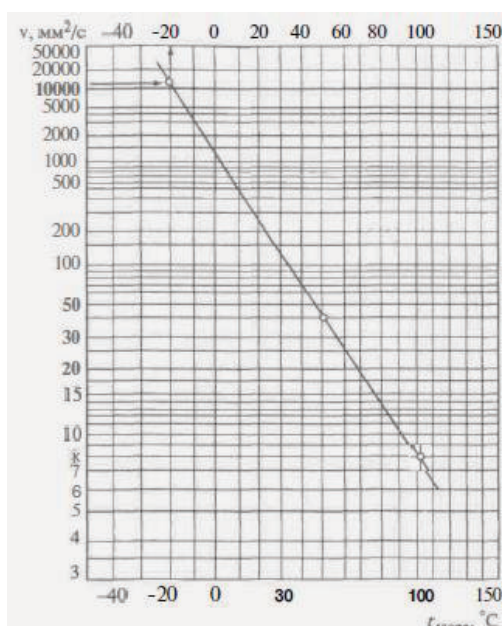
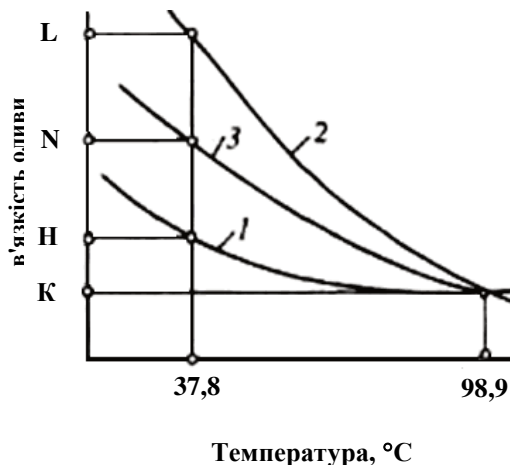


Рисунок 5.5 – Номограма для визначення в'язкості при різних температурах

**Індекс в'язкості** характеризує ступінь зміни в'язкості залежно від температури оливи, або пологість кривої в'язкісно-температурної оливи. Індекс в'язкості олив визначають в умовних одиницях (рис. 5.6), порівнюючи криві в'язкості випробуваної оливи і двох еталонних олив, одна з яких має дуже пологу криву – її індекс в'язкості прийнято за 100, а інша – круту криву – індекс в'язкості прийнято за 0. Еталонні оливи мають однакову в'язкість з випробуваною оливою при температурі 98,8°C.



*1 - еталонна олива з хорошими в'язкісно-температурними властивостями; 2 - еталонна олива, з поганими властивостями; 3 - випробувана олива.*

Рисунок 5.6 – Схема оцінки в'язкісно-температурних властивостей оливи за індексом в'язкості

Чим вище індекс в'язкості, тим краще техніко-експлуатаційні властивості моторних олив. Індекс в'язкості знаходять за відповідними формулами чи номограмою (рис. 5.7).

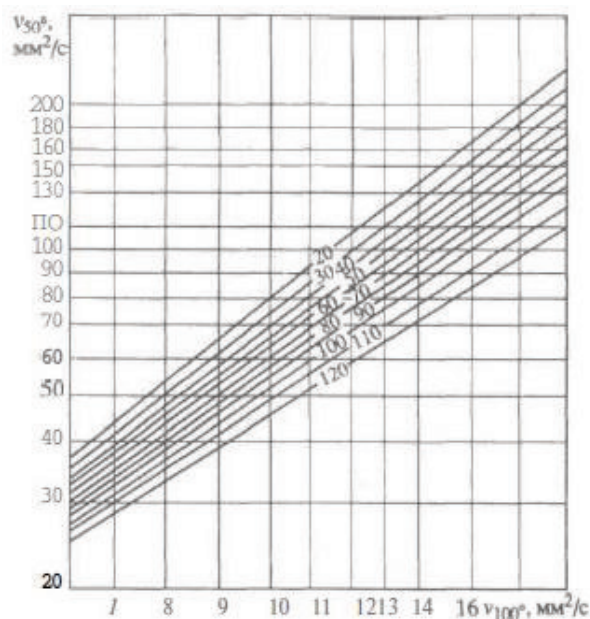


Рисунок 5.7 – Номограма для обчислення індексу в'язкості олив

Індекс в'язкості визначається за формулою:

$$IB = \frac{L - N}{L - H} 100,$$

де  $N$  – значення в'язкості при температурі  $37,8^{\circ}\text{C}$  для досліджуваної оливи, а  $L$  і  $H$  для еталонних олив.

В'язкісно-температурна крива випробуваної оливи зазвичай розташовується між кривими еталонних олив. Спочатку у випробуваної моторної оливи визначають кінематичну в'язкість при  $40$  і  $100^{\circ}\text{C}$ . Потім з урахуванням цих значень за номограмою або формулами визначають індекс в'язкості оливи.

**Термоокислювальна стабільність.** У процесі роботи двигуна моторна олива зазнає глибоких змін, які призводять до зміни фізичних та хімічних властивостей. Результатом таких перетворень є накопичення в оливі нейтральних продуктів у вигляді смолистих речовин, асфальтенів, карбенів та інших сполук глибокого окиснення, а також кислих речовин у вигляді органічних кислот, оксикислот, естолідів тощо. Продукти окислення оливи сприяють лако- та нагароутворенню на деталях поршневої групи, що може призводити до закоксовування поршневих кілець. Моторна олива повинна мати високу **термоокислювальну стабільність**, тобто не утворювати лакових відкладень на поверхнях поршневої групи двигуна під дією високої температури.

Визначення термоокислювальної стабільності полягає в наступному. Моторну оливу, що знаходиться на металевій поверхні у вигляді тонкого шару, нагрівають, внаслідок чого її маса зменшується за рахунок випаровування легколетких речовин. Залишок, отриманий на металевій поверхні, ділять на робочу фракцію та лак.

На рисунку 5.8 показано зміну моторної випаровуваності, схильності до утворення лаку та кількості робочої фракції моторної оливи при постійній температурі  $250^{\circ}\text{C}$  залежно від часу нагрівання на металевій поверхні.

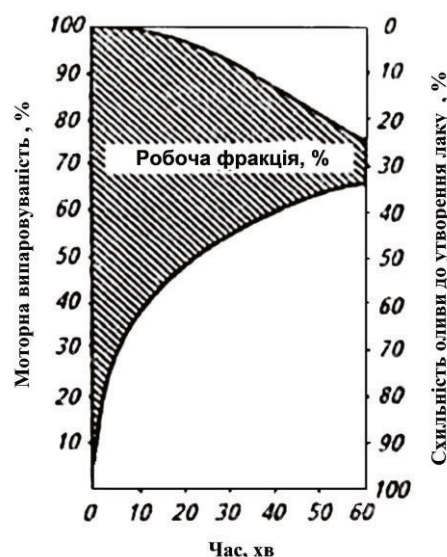


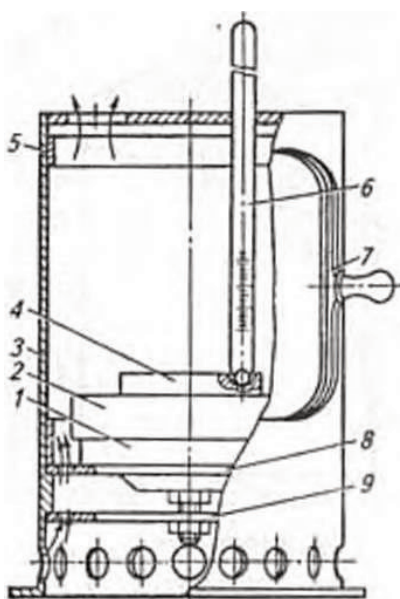
Рисунок 5.8 – Зміна моторної випаровуваності, схильності до утворення лаку та робочої фракції моторної оливи при постійній температурі

Як видно з рисунку, зі збільшенням часу нагріву збільшуються моторна випаровуваність і схильність до утворення лаку і знижується кількість робочої фракції, тобто оливи, що виконує функцію мастильного матеріалу.

Термоокислювальна стабільність моторної оливи – це час (у хвиликах), протягом якого випробувана олива при температурі 250°C перетворюється на лаковий залишок, що складається з 50% робочої фракції та 50% лаку.

Метод визначення термоокислювальної стабільності на випарниках термоста-лакоутворювача застосовують для умовної оцінки схильності олив до утворення лакових відкладень на деталях двигуна (у зоні поршневих кілець) та оцінки ефективності дії присадок, що зменшують лакоутворення.

Лакоутворювач для визначення термоокислювальної стабільності показаний на рисунку 5.9. Він складається з електронагрівального елемента 1, пластини 2 і сталевого диска 4, який нагрівається від елемента 1. Температуру диска контролюють за допомогою термометра 6. Прилад обладнаний рухомими скляними дверцятами 7.



1- електронагрівальний елемент; 2 - нагрівальна пластина; 3 - металевий корпус; 4 - диск; 5 і 9 - верхня та нижня кришки; 6 - термометр; 7 - рухомі скляні дверцята; 8 - накладка.

Рисунок 5.9 – Лакоутворювач для визначення термоокислювальної стабільності

У лакоутворювачі встановлюють температуру 250°C. На сталевому диску розміщують чотири випарні сталеві тарілочки, у кожній з яких знаходиться по 0,035...0,04 г випробуваної оливи. Коли олива в тарілочках окислиться, що визначають за зміною кольору масляної плівки, з диска знімають одну тарілочку, а інші з інтервалом 10 хв. Після охолодження тарілочку зважують, петролейним ефіром екстрагують (витягають з суміші ту чи іншу речовину за допомогою відповідного розчинника) з залишку оливи робочу фракцію. Потім тарілочку знову зважують. Так визначають кількісний вміст робочої фракції та лаку.

Випарюваність  $I_T^{\tau}$  (%) досліджуваної оливи при температурі  $T$  протягом часу  $\tau$  розраховують за формулою:

$$I_T^\tau = \frac{m_1 - (m_3 - m_2)}{m_1} 100,$$

де  $m_1, m_2, m_3$  – маса навішування відповідно оливи, чистого випарника до дослідження та випарника із залишком оливи після випаровування в лакоутворювачі, г.

Масову частину робочої фракції  $R\Phi_T^\tau$  (%) досліджуваної оливи при температурі  $T$  протягом часу  $\tau$  знаходять за формулою:

$$R\Phi_T^\tau = \frac{m_3 - m_4}{m_1} 100,$$

де  $m_4$  – маса випарника із залишком лаку після екстрагування, г.

За випаровування та робочу фракцію випробуваної оливи приймають середнє арифметичне двох випробувань. Розбіжність між паралельно отриманими результатами не має перевищувати 10% середнього значення.

Масову частку лаку  $L_T^\tau$  (%) при температурі  $T$  протягом часу  $\tau$  розраховують за формулою:

$$L_T^\tau = \frac{m_4 - m_2}{m_1} 100.$$

За отриманими даними будують графік зміни в часі кількостей робочої фракції та лаку в випробуваній оливі (рис. 5.10).

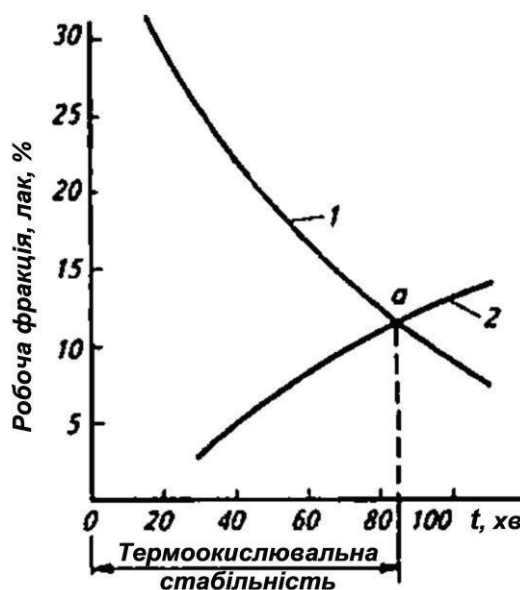
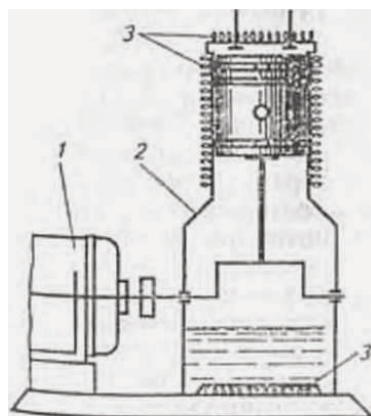


Рисунок 5.10 – Зміна за часом кількісного вмісту робочої фракції (1) та лаку (2) у випробуваній оливі

З точки перетину кривих опускають перпендикуляр на вісь абсцис і отримують значення термоокислювальної стабільності в хвилинах. **Чим вище термоокислювальна стабільність оливи, тим повільніше її окислення в тонкому шарі при високій температурі, вище якість оливи і менша небезпека пригорання кілець.**

**Мийно-диспергуючі властивості.** Вони характеризують здатність оливи зменшувати утворення вуглецевих відкладень та опадів на деталях двигуна та підтримувати продукти забруднення у зваженому стані. Чим вище мийно-диспергуючі властивості моторних оливи, тим більше продуктів забруднення і окислення утримується в працюючій оливі без випадання в осад. І тим менше утворюється лакових відкладень на поршнях, а на інших деталях – мазеподібних опадів сірого або чорного кольору, при роботі двигуна внутрішнього згорання. При введенні в оливу спеціальної (мийної) присадки, її схильність до утворення лаку та інших відкладень різко знижується. Навіть після тривалої роботи деталі двигуна виявляються абсолютно чистими, ніби їх нещодавно вимили. Звідси і виникли терміни «миючі присадки», «миючі властивості оливи». Ці терміни не зовсім точні, тому що олива з миючою присадку в складі, не змиває лак з деталей, а попереджає його утворення на них.

Миючі властивості моторних оливи визначають за інтенсивністю лакоутворення на поверхні поршня на установці ПЗВ (рис. 5.11).



1 - электродвигун; 2 - одноциліндровий двигун; 3 - електронагрівальні елементи.

Рисунок 5.11 – Установа ПЗВ

Установа складається з одноциліндрового чотиритактного двигуна 2 електродвигуна 1 і пульта управління. Алюмінієвий поршень забезпечений двома компресійними та двома маслоз'ємними кільцями. Необхідний температурний режим підтримується електронагрівальними елементами 3. Умови випробування наступні: в картер двигуна заливають 250 мл випробуваної оливи; частота обертання колінчастого валу двигуна  $2500 \text{ хв}^{-1}$ ; температура головки циліндра  $300^{\circ}\text{C}$ , оливи в картері  $125^{\circ}\text{C}$  та повітря на випуску  $220^{\circ}\text{C}$ . Тривалість випробування 2 год.

Після випробування прилад розбирають і за кількістю лаку на бічній поверхні поршня оцінюють миючі властивості оливи за семибальною кольоровою шкалою. Якщо поршень чистий, олива отримує бал 0, а якщо дуже забруднений лаком – бал 6.

**Антиокислювальні властивості.** Вони характеризують стійкість оливи до окислення. Повністю запобігти окисленню оливи через жорсткі умови експлуатації неможливо. Процес окислення моторної оливи можна значно загальмувати запровадженням ефективних антиокислювальних присадок, очищенням базових оливи від не-

бажаних сполук, використанням синтетичних базових компонентів. При окисленні оливи відбувається збільшення його в'язкості та корозійності, схильності до утворення відкладень, сильного забруднення фільтрів, що призводить до важкого холодного пуску та погіршення прокачуваності оливи. У двигуні олива найбільш інтенсивно окислюється в тонких шарах на поверхнях деталей, що нагріваються до високої температури і стикаються з гарячими газами. Значне окислення оливи відбувається на поршнях, циліндрах, поршневих кільцях, клапанах та ін.. Швидкість і ступінь окислення моторної оливи істотно збільшуються під дією продуктів неповного згоряння палива, що прориваються в картер двигуна. Окислення оливи прискорюють також частинки металів, що накопичуються в ньому внаслідок зношування деталей двигуна, і металоорганічні сполуки міді, заліза та інших металів, що утворюються в результаті корозії деталей двигуна або взаємодії цих частин з органічними кислотами.

При тривалій роботі оливи в двигуні в результаті окислення спостерігається значне зростання в'язкості, яке відбувається після спрацьовування антиокислювальної присадки. У стандартах на моторні оливи їх стійкість до окислення оцінюють за індукційним періодом опадоутворення (окислення при 200°C за ДСТУ ГОСТ 11063:2021) або збільшення їх в'язкості при роботі в двигуні установки ІКМ (моторні випробування за ДСТУ ГОСТ 17479.1:2019).

**Антикорозійні властивості.** Ці властивості моторних олив залежать головним чином від ефективності антикорозійних і антиокислювальних присадок, і навіть від складу базових компонентів. У процесі роботи оливи у двигуні її корозійність зростає. Найбільш сильно збільшується корозійність олив з малосірчистих нафт з високим вмістом парафінових вуглеводнів, які у процесі окислення утворюють агресивні органічні кислоти. Ці кислоти взаємодіють з кольоровими металами та їх сплавами.

Антикорозійні присадки захищають вкладиші підшипників та інші деталі, виготовлені з кольорових металів, утворюючи на поверхні міцну захисну плівку.

**Нейтралізуюча здатність** – це найважливіша хімічна властивість моторних олив, що характеризується **лужним числом**. Воно показує, яка кількість кислот, що утворюються при окисненні оливи або потрапляє в нього з продуктів згоряння палива, може нейтралізувати одиниця маси оливи. **Лужне число** олив обумовлюється вмістом у них миючих та диспергуючих присадок, що володіють лужними властивостями і перешкоджають відкладенню смолисто-асфальтових речовин, карбенів і карбоїдів на деталях кривошипно-шатунного механізму і особливо на деталях циліндро-поршневої групи двигунів у вигляді лаку та нагару.

Чим вище концентрація присадки в оливі (лужне число), тим менше нагароутворення в двигуні. Однак концентрація присадки в оливі під час роботи двигуна поступово знижується (спрацьовується) та захисні властивості оливи погіршуються.

Лужне число моторної оливи визначають методом потенціометричного титрування за ISO 6619-88. За лужне число приймають кількість лугу, виражене в міліграмах гідроксиду калію (KOH) на 1 г зразка, необхідне для потенціометричного титрування випробуваної маси в певному розчиннику від початкового показання вимірювального приладу до показання, що відповідає свіжоприготованому кислому неводному буферному розчину.

**Температура спалаху та займання.** При нагріванні моторні оливи випаровуються. Пари оливи, змішуючись із повітрям, утворюють вибухову суміш.

**Температура спалаху** – це мінімальна температура, при якій пари оливи, нагрітої в спеціальному приладі, утворюють з повітрям суміш, що спалахує від стороннього джерела вогню.

**Температура займання** – це така температура нагрітої оливи, при якій вона спалахує сама.

Температури спалаху та займання характеризують вогненебезпечність нафтопродукту. За температурою спалаху можна оцінити властивості вуглеводнів, що входять до складу оливи, визначивши наявність у ньому домішок палива. У присутності палива значно знижується температура спалаху оливи: при попаданні в оливу 1% бензину – з 200 до 170°C, а за наявності в оливі 6% бензину – майже вдвічі.

На температуру спалаху впливають тиск і вологість повітря. З підвищенням атмосферного тиску температура спалаху дещо збільшується, а зі зростанням вологості повітря – зменшується.

Суміш парів оливи з повітрям займається при певній мінімальній концентрації парів у повітрі, яка відповідає нижній межі вибуховості.

**Низькотемпературні властивості.** Ці властивості оцінюють за в'язкістю та температурою застигання. **Температурою застигання** називається температура, коли олива втрачає рухливість, тобто перестає текти під впливом сили тяжіння.

Вимоги до якості моторних олив різко зросли у зв'язку з постійним удосконаленням конструкцій двигунів і вирішенням завдань щодо поліпшення їхньої паливної економічності (енергозбереження), зниження витрати та збільшення термінів зміни оливи (20...50 тис. км у автомобілів). Велике значення набуває екологічний фактор у зв'язку з введенням норм по викидам шкідливих речовин з відпрацьованими газами, поступовою відмовою від використання шкідливих компонентів, наприклад ароматичних вуглеводнів.

Основні напрямки у забезпеченні вимог до якості моторної оливи: підвищення термоокислювальної стабільності олив, зниження низькотемпературної в'язкості, поліпшення показників прокручування та прокачування при холодному пуску, створення довгопрацюючих олив та широке використання енергозберігаючих олив.

### 5.3 БАЗОВІ ОЛИВИ

При виробництві моторних олив використовують базові оливи (рідкі мастильні матеріали), до яких для отримання товарних продуктів додають присадки. Застосовують базові оливи **трьох типів**: мінеральні, синтетичні та частково синтетичні. **Мінеральні** оливи отримують у процесі переробки нафти, **синтетичні** – шляхом хімічних реакцій, що направлені на утворення однотипних молекул органічних речовин із бажаними властивостями. Частково синтетичні (**напівсинтетичні**) складаються із сумішей мінеральних та синтетичних базових олив.

Оскільки мінеральні оливи не завжди можуть задовольняти вимогам техніки, що швидко розвивається, то все ширше застосовують синтетичні оливи. Головна перевага синтетичних олив перед мінеральними в тому, що їх можна готувати із заздалегідь заданими властивостями залежно від конкретних умов застосування. Створюючи композиції мінеральних та синтетичних олив з присадками або повністю синтетичні оливи, можна отримати мастила, що відповідають усім вимогам сучасної техніки. Область їх застосування постійно розширюється. Так, у Німеччині та Франції частка синтетичних олив перевищує 30%. Вартість синтетичних олив приб-

лизно в 5 разів вища за мінеральні, проте їх термін служби більший, ніж у мінеральних.

До складу синтетичних олив входять такі продукти:

➤ поліаль-фаолефіни – це вуглеводневі сполуки, що не містять сірки, фосфору або металів. Температура застигання їх нижче  $-40^{\circ}\text{C}$ , індекс в'язкості перевищує 140. Мають хорошу термоокислювальну стабільність;

➤ складні ефіри двох основних кислот – не містять сірки, фосфору, металів та парафінів. Температура застигання їх  $-50 \dots -60^{\circ}\text{C}$ . Мають хорошу термоокислювальну стабільність і високу розчинну здатність. Вони «чисто працюючі», тобто більш схильні розчиняти лаки та опади, ніж утворювати відкладення, а також здатні видаляти відкладення у двигуні, утворені іншими оливами;

➤ алкіловані ароматичні добавки – мають високу термоокислювальну стабільність і індекс в'язкості, не схильні до утворення відкладень.

Переваги моторних олив на синтетичній основі порівняно з мінеральними:

✓ менша залежність в'язкості від температури, тобто вищий індекс в'язкості;  
✓ хороші низькотемпературні властивості, низька температура застигання і швидке надходження оливи до деталей, що змащуються, тобто хороша прокачуваність;

✓ незначна випаровуваність при високій температурі, невисока витрата оливи та малий викид токсичних речовин випускними газами;

✓ висока стійкість до окислення, термоокислювальна стабільність і мала схильність до утворення відкладень;

✓ надійне змащування поверхонь тертя при високих навантаженнях та температурах;

✓ великий термін служби оливи та менші витрати на технічне обслуговування двигуна.

Недоліки синтетичних олив:

- підвищена корозійність щодо сплавів кольорових металів;
- відносно висока вартість.

## 5.4 ПРИСАДКИ ДО ОЛИВ

Присадки додають до олив для покращення їхньої якості. Найбільш важливі з них в'язкістні, мийно-диспергуючі, антиокислювальні та депресорні.

**В'язкістні** (загущуючі) присадки додають в моторні оливи для підвищення їх в'язкості та індексу в'язкості. Такі оливи називають загущеними. Присадки, що загущують (зараз все частіше вживають термін «модифікатори в'язкості») у поєднанні з присадками, що покращують мастильні властивості моторних олив, дозволяють створювати енергозберігаючі оливи.

На відміну від не загущених олив, в'язкість яких залежить в основному від температури і тиску, загущені оливи мають ще здатність змінювати свою в'язкість в залежності від напруги і градієнта швидкості зсуву. Вони виявляють тимчасове падіння в'язкості із збільшенням швидкості зсуву. Такі рідини називають «розріджувані зрушенням». Приклади таких рідин: гумовий клей, густотерта фарба, бітум. В'язкість цих рідин називають уявною. Її зниження при певному градієнті швидкості зсуву тим більше, чим нижча температура оливи.

У загущених олив також спостерігається перманентне зниження в'язкості че-

рез механічну і термохімічну деструкцію присадок, що загущують. У СНД як товарні в'язкісні присадки в основному використовують поліметакрилати. До в'язкісних присадок відносяться також кополімери стиrolу з дієновими вуглеводнями (ізопреном або бутадієном), кополімери етилену з пропіленом і з вищими олефінами, ефіри одно-і багатоосновних кислот.

Молекули поліметакрилатів при низькій температурі, коли в'язка олива, знаходяться в скрученому стані і мало впливають на в'язкість. Зі зростанням температури вони розкручуються і підвищують в'язкість (рис. 5.11). Полімери компенсують значну втрату в'язкості оливи при підвищенні температури. Таким чином, підвищується індекс в'язкості оливи.

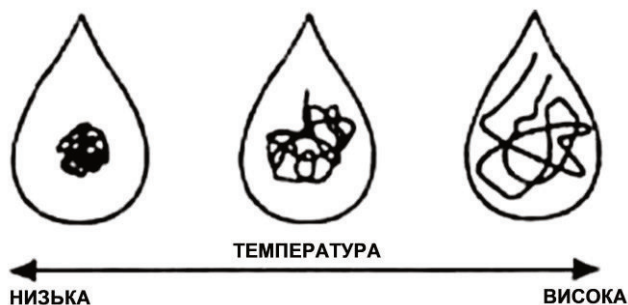
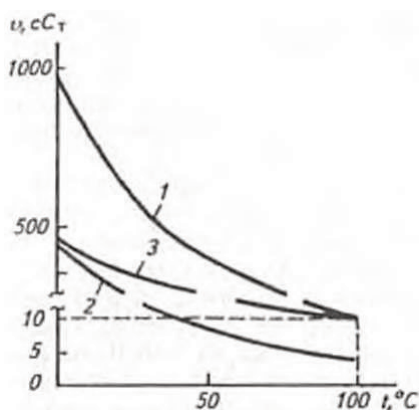


Рисунок 5.11 – Стан молекули в'язкісної присадки в оливі за різної її температури

Присадки типу поліметакрилатів ПМА В-1, ПМА В-2, «Диз-акрил» є масляними розчинами ефірів метакрилатової кислоти і олив синтетичних жирних спиртів.

В'язкісні присадки КП-5, КП-10 і КП-20 є продуктами полімеризації ізобутилену. Середня молекулярна маса присадок від 4000 до 25000. Їх застосовують у вигляді масляних розчинів у трансформаторній або індустріальній оливі.

Залежність в'язкості різних олив від температури зображено на рисунку 5.12.



1 - моторна; 2 - малов'язка мінеральна; 3 - загущена моторна.

Рисунок 5.12 – Залежність в'язкості олив від температури

Як видно з рисунку, при зниженні температури в'язкість моторної оливи сильно зростає, а малов'язкої мінеральної змінюється по пологій кривій. Додаючи в останні в'язкісні присадки, отримують загущену моторну оливу, у якій в'язкість при 100°C збільшена за рахунок додавання присадки, а при 0°C така ж, як у малов'язкої не загущеної мінеральної оливи.

Загущені оливи мають високий індекс в'язкості, хорошу плинність при низьких температурах, сприяють легкому і швидкому пуску двигуна в холодну пору року, утворюють невелику кількість нагару, забезпечують мінімальні втрати потужності на тертя, що веде до економії палива.

**Мийно-диспергуючі присадки** призначені для запобігання або зменшення утворення лакових відкладень та опадів на робочих поверхнях, попередження пригорання поршневих кілець, а також для підтримки продуктів окислення оливи у завислому стані. Для цих цілей в моторні оливи вводять миючі (детергенти) і диспергуючі (диспергенти) присадки. Мийно-диспергуючі присадки умовно ділять на дві групи: зольні та без зольні.

У молекулі зольних присадок містяться полярні групи, які адсорбуються на поверхнях частинок окиснення оливи, перешкоджаючи їх укрупненню та відкладенню на робочих поверхнях. Таким чином запобігають утворенню відкладень і лаків на деталях двигуна. Зольні миючі присадки підвищеної лужності нейтралізують кислі продукти, що утворюються внаслідок окислення оливи.

При виробництві моторних олив застосовують вітчизняні детергенти трьох класів: алкілфеноляти, сульфонати та алкілсаліцилати лужноземельних металів. Ці присадки становлять переважну частину композицій присадок в моторних оливах, проте намітилася тенденція до їх зменшення у зв'язку зі зростанням частки беззольних дисперсантів та антиокислювальних присадок.

**Композиції та пакети присадок.** Зростаючі вимоги до якості олив призвели до необхідності створення композицій багатофункціональних присадок, які підвищують багато експлуатаційних властивостей олив. При складанні композицій присадки не просто механічно поєднуються, а хімічно взаємодіють. Тому посилюються старі або виявляються нові якості присадок.

Для спрощення зберігання, транспортування та полегшення змішування базових олив з присадками випускають пакети присадок, до складу яких не входять лише в'язкісні та депресорні присадки. При необхідності їх вводять до оливи додатково. Змінюючи дозування пакету присадок, можна готувати оливи з різним рівнем експлуатаційних властивостей. Пакети присадок зазвичай містять до 15 компонентів. Їх вводять в оливу в концентрації до 12% (мас. частка).

## **5.5 ВІТЧИЗНЯНА КЛАСИФІКАЦІЯ МОТОРНИХ ОЛИВ**

Моторні оливи класифікують за в'язкістю та експлуатаційними властивостями (ДСТУ ГОСТ 17479.1:2019).

За в'язкістю зимові сорти загущених моторних олив ділять на 4 класи (3з, 4з, 5з, 6з), літні сорти – на 8 класів (6, 8, 10, 12, 14, 16, 20, 24), а позасезонні загущені – на 10 класів (від 3з/8 до 6з/16). Клас позасезонних олив зображують дробом, у чисельнику якого вказують кінематичну в'язкість при 18°C, а знаменнику при 100°C (табл. 5.2). Наприклад, 6з/14 означає, що в'язкість оливи при -18 °C дорівнює 10400 сСт, а при 100 °C знаходиться в межах 12,5...14,5 сСт. Літера «з» в індексі відповідає наявності в'язкісної (загущувальної) присадки.

Таблиця 5.2 – Класифікація моторних олив за в'язкістю

Клас в'язкості	Кінематична в'язкість, мм <sup>2</sup> /с (сСт), при темп.	
	100°С	-18°С, не більше
3з	≥ 3,8	1250
4з	≥ 4,1	2600
5з	≥ 5,6	6000
6з	≥ 5,6	10400
6	більше 5,6 до 7,0 (вкл.)	—
8	7,0...9,3	—
10	9,3...11,5	—
12	11,5...12,5	—
14	12,5...14,5	—
16	14,5...16,3	—
20	16,3...21,9	—
24	21,9...26,1	—
3з/8	7,0...9,3	1250
4з/6	5,6...7,0	2600
4з/8	7,0...9,3	2600
4з/10	9,3...11,5	2600
5з/10	9,3...11,5	6000
5з/12	11,5...12,5	6000
5з/14	12,5...14,5	6000
6з/10	9,3...11,5	10400
6з/14	12,5...14,5	10400
6з/16	14,5...16,3	10400

Класифікація моторних олив за експлуатаційними властивостями (ДСТУ ГОСТ 17479.1:2019) поширюється на оливи з присадками, що використовуються для змащування двигунів внутрішнього згорання. Залежно від сфери застосування моторні оливи ділять на шість груп: А, Б, В, Г, Д, Е (табл. 5.3). Оливи групи Е відрізняються підвищеною диспергуючою здатністю та кращими протизносними властивостями.

Оливи, що використовуються в бензинових двигунах, мають індекс 1, а в дизельних – індекс 2. У марці оливи М-10-Г<sub>2</sub> буква М означає моторна, число 10 – в'язкість у сантистоксах при 100°С, буква Г<sub>2</sub> – область застосування оливи (для високофорсованих дизелів). У марці М-5з/12-Г<sub>1</sub> клас в'язкості 5з/12 означає наступне: 5 – в'язкість при -18 °С, літера «з» в індексі – наявність загущувальної (в'язкісної) присадки, внаслідок чого оливу можна використовувати всесезонно; 12 – в'язкість при 100 °С; Г<sub>1</sub> – сфера застосування (для високофорсованих бензинових двигунів).

У марці М-8-В літера «В» означає, що олива універсальна для середньофорсованих дизельних та бензинових двигунів. У марці М-4з/8-В<sub>2</sub>Г<sub>1</sub> літери «В<sub>2</sub>Г<sub>1</sub>» вказують на можливість використання оливи як у середньофорсованих дизельних (В<sub>2</sub>), так і високофорсованих бензинових (Г<sub>1</sub>) двигунах. У марці М-4з/8-Д(т) літера «т» означає, що олива може бути використана як трансмісійна.

Таблиця 5.3 – Групи моторних олив

Група оливи за експлуатаційними властивостями	Рекомендована область застосування
А	Нефорсовані бензинові двигуни та дизелі
Б <sub>1</sub>	Малофорсовані бензинові двигуни, що працюють в умовах, що сприяють утворенню високотемпературних відкладень та корозії підшипників
Б <sub>2</sub>	Малофорсовані дизелі
В <sub>1</sub>	Середньофорсовані бензинові двигуни, що працюють в умовах, що сприяють окисленню олив та утворенню всіх видів відкладень
В <sub>2</sub>	Середньофорсовані дизелі, що пред'являють підвищені вимоги до антикорозійних, протизносних властивостей олив та схильності до утворення високотемпературних відкладень
Г <sub>1</sub>	Високофорсовані бензинові двигуни, що працюють у важких експлуатаційних умовах, сприяють окисленню олив, утворенню всіх видів відкладень та корозії
Г <sub>2</sub>	Високофорсовані дизелі без наддуву або з помірним наддувом, що працюють в умовах, що сприяють утворенню високотемпературних відкладень
Д <sub>1</sub>	Високофорсовані бензинові двигуни, що працюють у більш важких умовах, ніж мастила групи Г <sub>1</sub>
Д <sub>2</sub>	Високофорсовані дизелі з наддувом, що працюють у важких умовах або в таких умовах, коли застосовуване паливо вимагає використання олив з високою нейтралізуючою здатністю, антикорозійними та протизносними властивостями, малою схильністю до утворення всіх видів відкладень.
Е <sub>1</sub> , Е <sub>2</sub>	Високофорсовані бензинові двигуни і дизелі, що працюють у більш важких умовах, ніж оливи груп Д <sub>1</sub> і Д <sub>2</sub>

## 5.6 ЗАКОРДОННІ КЛАСИФІКАЦІЇ МОТОРНИХ ОЛИВ

Імпортні оливи мають різні назви і буквено-цифрові позначення. Проте якщо олива відповідає жорстким міжнародним стандартам, тобто має високу якість, то зазвичай вказують його класифікацію за класом в'язкості SAE (Товариство інженерів-автомобілістів) та за експлуатаційними властивостями API (Американський інститут нафти) та ACEA (Асоціація європейських виробників автомобілів).

Нафтопереробні заводи нашої країни застосовують ці класифікації під час маркування олив.

### *Класифікація моторних олив за в'язкістю за SAE.*

Ця класифікація практично прийнята у багатьох країнах. Її останній варіант представлений у таблиці 5.4.

Відповідно до цієї класифікації оливи ділять за в'язкістними характеристиками на 11 класів, шість з яких відносяться до зимових (SAE 0W, 5W, 10W, 15W, 20W і 25W). Тут буква W означає "Winter" – зима. У оливах зимових сортів додано загущувальну присадку. П'ять класів відносяться до літніх олив (SAE 20, 30, 40, 50, 60).

Загальною ознакою для моторних олив всіх класів є кінематична в'язкість при 100°C. Для *зимових олив* нормовано лише мінімальне значення кінематичної в'язкості, а для *літніх* – широкі межі кінематичної в'язкості при 100°C кожного класу.

Таблиця 5.4 – Класифікація SAE J300

Клас за SAE	Низькотемпературна в'язкість		Високотемпературна в'язкість		
	Провертання*	Прокачування**	В'язкість***, мм <sup>2</sup> /с, при 100°C		В'язкість**** МПа·с, при 150°C і швидкості здвигу 106 с <sup>-1</sup> , не менше
	Максимальна в'язкість, МПа·с, при температурі, °C	Максимальна в'язкість, МПа·с, при температурі, °C	Min	Max	
0W	3250 при -30°C	60000 при -40°C	3,8	–	–
5W	3500 при -25°C	60000 при -35°C	3,8		
10W	3500 при -20°C	60000 при -30°C	4,1	–	–
15W	3500 при -15°C	60000 при -25°C	5,6	–	–
20W	4500 при -10°C	60000 при -20°C	5,6	–	–
25W	6000 при -5°C	60000 при -15°C	9,3	–	–
20	–	–	5,6	< 9,3	2,6
30	–	–	9,3	< 12,5	2,9
40	–	–	12,5	< 16,3	2,9*а
40	–	–	12,5	< 16,3	3,7*б
50	–	–	16,3	< 21,9	3,7
60	–	–	21,9	< 26,1	3,7

\* В'язкість вимірюється за методом ASTM D 5293 на віскозиметрі CCS.

\*\* В'язкість вимірюється за методом ASTM D 4684 на віскозиметрі MRV; напруга зсуву не допускається за будь-якого значення в'язкості.

\*\*\* В'язкість вимірюється за методом ASTM D 445 на капілярному віскозиметрі.

\*\*\*\* В'язкість вимірюється за методом ASTM D 4683 або CEC L-36-A-90 на кінчному імітаторі підшипника.

\*а Це значення для класів SAE 0W-40, 5W-40, 10W-40.

\*б Це значення для класів SAE 40, 15W-40, 20W-40, 25W-40.

**Всесезонною** загущеною називають оливу, яка за низькотемпературною динамічною в'язкістю відповідає одному із зимових класів, а по кінематичній в'язкості при 100°C та динамічній в'язкості при 150°C – одному з літніх. У позначенні всесезонних загущених олив спочатку вказують один із зимових класів, а потім один із літніх. Наприклад, SAE 5W-40, SAE 10W-30 і т.д.

У таблиці 4 для літніх класів моторних олив вказані мінімальні значення динамічної в'язкості при температурі 150°C і швидкості зсуву 106с<sup>-1</sup>. Ці умови характерні для масляної плівки в корінних і шатунних підшипниках колінчастого валу і між циліндром і поршневым кільцем у прогрітого двигуна в літній період.

Для зимових класів встановлені два значення максимально допустимої динамічної в'язкості, при якій можливий холодний пуск двигуна без попереднього підігріву (провертання) та задовільне прокачування моторної оливи насосом по мастильній системі при провертанні колінчастого валу двигуна електростартером.

Низькотемпературна в'язкість моторної оливи (провертання та прокачування) у таблиці 3 наведена в одиницях вимірювання динамічної в'язкості. Для визначення цієї в'язкості користуються ротаційними віскозиметрами, в яких показником опору потоку рідини служить момент опору валу, що обертається. До ротаційних віскозиметрів відносяться імітатор холодного пуску та міні-ротаційний віскозиметр. Швид-

кість зсуву в них можна варіювати, змінюючи розміри ротора, проміжок між стінками ротора і статора і швидкість обертання. За допомогою імітатора холодного пуску отримують достовірні результати, що відповідають холодному прокручуванню валу двигуна. Міні-ротаційний віскозиметр забезпечує малу швидкість зсуву при вимірі. Він вимірює критичну напругу зсуву, при якому починається перебіг рідини. На цьому віскозиметрі визначають прокачування оливи.

З метою гарантування прокачування моторної оливи при холодному пуску двигуна норми максимальної динамічної в'язкості для зимових класів встановлені на 5°C нижче норм в'язкості, що гарантують провертання двигуна електростартером з достатньою для пуску частотою обертання. Таким чином забезпечується подача оливи насосом при холодному пуску і достатній швидкості заповнення лійки, що утворюється на поверхні оливи в картері під оливозабірником. Слід зазначити, що між температурою застигання оливи та граничною температурою холодного пуску двигуна немає однозначної залежності.

### **Класифікація моторних олив за API.**

Перша класифікація моторних олив за умовами застосування та рівнями експлуатаційних властивостей була запропонована Американським інститутом нафти (API) ще 1947 р. З того часу вона багаторазово змінювалася і доповнювалася, але принцип поділу моторних олив на дві категорії зберігався завжди (табл. 5.5).

Таблиця 5.5 – Сучасна класифікація моторних олив за API

Категорія та клас API	Область та умови застосування
	<b>Категорія Service</b>
SH	Оливи, призначені для бензинових двигунів автомобілів, випущених у 1994 р. і раніше, замінюють оливи класу SG.
SJ	Ті ж, але з введенням додаткових вимог щодо витрати оливи в двигуні, енергозберігаючих властивостей (економії палива) та здатності витримувати нагрівання, не утворюючи відкладення
	<b>Категорія Commercial</b>
CF	Оливи, призначені для дизелів позашляхової техніки, що мають розділену камеру згоряння та працюють на паливі з підвищеним вмістом сірки (до 0,5%)
CF-4	Оливи, призначені для 4-тактних дизелів вантажних автомобілів, що здійснюють перевезення автострадами. Мають кращі миючі властивості, ніж оливи класу CE і можуть замінювати їх у дизелях, випущених до 1990р.
CR-2	Оливи, призначені для 2-тактних дизелів транспортних засобів; замінюють оливи класу CD-II, так як мають кращі миючі та протизносні властивості.
CG-4	Оливи, призначені для 4-тактних дизелів, позашляхових машин і вантажних автомобілів, що виконують за токсичними викидами норми, встановлені в США з 1994 р. У порівнянні з оливами класу CF-4 володіють кращими миючими, протизносними, антикорозійними властивостями, меншою спінюваністю при високій температурі і добре поєднуються з малосірчистими дизельними паливами (вміст сірки менше 0,05%). Замінюють оливи CF-4 у раніше випущених двигунах.

До категорії "S" (*Service*) відносяться оливи, призначені для 4-тактних бензинових двигунів легкових автомобілів, мікроавтобусів, пікапів.

До категорії "C" (*Commercial*) відносяться оливи, призначені для дизельного автотранспорту, дорожньобудівельної техніки та сільськогосподарських машин.

**Універсальними** називають оливи, які можуть застосовуватися для змащуван-

ня бензинових двигунів та дизелів.

Рівні експлуатаційних властивостей по API у порядку їх зростання позначають першими літерами латинського алфавіту, що стоять за літерами "S" або "C", що вказують область застосування. До цього часу в категорію Service було введено дев'ять класів (SA, SB, SC, SE, SF, SG, SH, SJ), а в категорію Commercial десять класів (CA, CB, CC, CD, CD-II, CE, CF, CF-4, CF-2, CG-4).

Цифри при позначеннях класів CD-II, CF-2, CG-4 дають додаткову інформацію про застосування олів даного класу в 2-тактних або 4-тактних дизелях відповідно. Для позначення універсальних олів використовують подвійне маркування, наприклад, CF-4/SG, SH/CG-4 і т.п.

Застарілі класи через непотрібність виключені з класифікації API. Сьогодні в США сертифікують лише оливи з вищими рівнями експлуатаційних властивостей, а саме: SH та SJ для бензинових двигунів, CF, CF-2, CF-4 та CG-4 – для дизелів.

**Перспективи.** Клас PC-9 розроблено у зв'язку з новими екологічними вимогами, сформульованими Американським агентством з охорони навколишнього середовища. Для забезпечення цих вимог необхідно створити систему рециркуляції відпрацьованих газів. Для цього слід змінити конструкцію двигунів та надати нові експлуатаційні властивості моторним оливам. Одночасно передбачається підвищення питомих потужностей двигунів.

Основні особливості роботи оливи в умовах рециркуляції випускних газів і підвищеної питомої потужності – підвищення кислотності оливи, утворення сажі та у зв'язку з цим збільшення в'язкості оливи, значне зношування деталей двигуна і більш високий температурний режим роботи двигуна і оливи.

Категорія API EC – енергозберігаючі малов'язкі оливи (Energy Consenting), що зменшують витрату палива за результатами тестів на бензинових двигунах.

**Класи олів.** SH/EC (застарілий) – економія бензину не менше 1,5% порівняно з еталонною оливою SAE 20W-30;

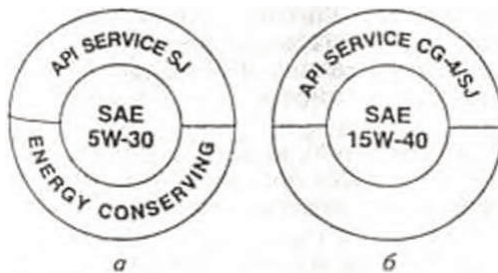
SH/EC II (застарілий) – економія палива не менше 2,7% порівняно з еталонною оливою SAE 20W-30;

API SJ/EC (діючий) – економія залежно від в'язкості оливи, що тестується.

Універсальні оливи для бензинових і дизельних двигунів позначаються двома символами відповідних категорій: перший символ є основним, а другий вказує на можливість застосування оливи для двигуна іншого типу. Наприклад, API SH/CF-4 це олива для використання переважно в бензинових двигунах, але його можна застосовувати і в дизельних двигунах, для яких пропонується клас CF-4 і нижче (CF, CE і т.д.).

**Знак API.** Для моторних олів, що відповідають вимогам категорій якості, що діють, і пройшли офіційні випробування API – SAE, на етикетках ставлять знак «API символ обслуговування». У цьому знаку вказані в'язкістні та експлуатаційні властивості олів та можливий ступінь енергозбереження (рис. 5.13).

Найновіші категорії олів, сертифікованих API, позначають символом «Свідectво сертифікації API», так званім знаком «Зоряний вибух» (рис. 5.14). Ці оливи повинні відповідати вимогам ILSAC (Міжнародний комітет зі стандартизації та схвалення мастильних матеріалів). Знак присвоюють тільки енергозберігаючим оливам найвищої якості з в'язкістю SAE 0W-..., 5W-... та 10W.



*а - енергозберігаючі оливи високої якості; б - для олив високої якості.*

Рисунок 5.13 – Знаки «API символ обслуговування»



Рисунок 5.14 – API сертифікаційний знак «Starburst»

Приклад позначення марки моторної оливи SAE і API: Castrol SAE 5W-30, API SJ/CF-4, ЕС. Перші слова та марки зазвичай вказують на назву фірми. Олива універсальна всесезонна. Низькотемпературна в'язкість відповідає класу 5W (динамічна в'язкість – провертання 6600 мПа при -30°C, прокачування 60000 мПа при -35°C). Високотемпературна кінематична в'язкість відповідає класу 30 (min 9,3, max 12,5 мм<sup>2</sup>/с). Високотемпературна динамічна в'язкість при швидкості зсуву 106с<sup>-1</sup> не менше 2,9 мПа·с. Оливу переважно використовують в бензинових двигунах легкових автомобілів (клас SJ), але можна застосовувати і дизельних двигунах легкових автомобілів (клас CF-4). Вона має енергозберігаючі властивості (ЕС).

Приблизна відповідність класів в'язкості згідно з ДСТУ ГОСТ 17479.1:2019, SAE та API наведена в таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Відповідність класів в'язкості та груп моторних олив за ДСТУ ГОСТ 17479.1:2019 класифікаціям SAE та API

Клас в'язкості		Клас в'язкості	
ДСТУ ГОСТ 17479.1:2019	SAE	ДСТУ ГОСТ 17479.1:2019	SAE
3з	5W	24	60
4з	10W	3з/8	5W-20
5з	15W	4з/6	10W-20
6з	20W	4з/8	10W-20
6	20	4з/10	10W-30
8	20	5з/10	15W-30
10	30	5з/12	15W-30
12	30	6з/10	20W-30
14	40	6з/14	20W-40
16	40	6з/16	20W-40
20	50		

Продовження таблиці 5.6

ДСТУ ГОСТ 17479.1:2019	API	ДСТУ ГОСТ 17479.1:2019	API
А	SB	Г <sub>2</sub>	CC
Б	SC/CA	Д <sub>1</sub>	CF
Б <sub>1</sub>	SC	Д <sub>2</sub>	CD
Б <sub>2</sub>	CA	Е <sub>1</sub>	SG
В	SD/CB	Е <sub>2</sub>	CF-4
В <sub>1</sub>	SD		SH*
В <sub>2</sub>	CB		SJ*
Г	SE/CC		CG-4*
Г <sub>1</sub>	SE		

\*Ці класи API не мають аналогів у вітчизняній класифікації.

У цих класів збігаються тільки характеристики кінематичної в'язкості при 100°C. Низькотемпературна характеристика згідно з ДСТУ ГОСТ 17479.1:2019 встановлена при температурі -18°C за кінематичною в'язкістю, що визначається шляхом екстраполяції. Визначення динамічної в'язкості при 150°C та високій швидкості зсуву цим стандартом не передбачено.

Зниження в'язкості (до SAE 10W чи SAE 5W) забезпечує економію палива в середньому на 1...2%. Використання високоякісної синтетичної моторної оливи класу SAE 0W-40 дозволяє знизити витрату палива на 6% порівняно зі стандартною мінеральною оливою.

Автомобілебудівні фірми США та Японії розробили єдині мінімальні вимоги до моторних олив для автомобільних двигунів у класифікації ILSAC, яка містить два класи олив, що позначаються GF-1 та GF-2. Вони практично ідентичні оливам класів SH та SJ по API. Ці оливи мають високі енергозберігаючі властивості, є всесезонними; зимова характеристика обмежена найменш в'язкими оливами SAE 0W, 5W та 10W, а літній клас може бути будь-яким. API сертифікують моторні оливи на відповідність класам ILSAC. При цьому маркують їх за допомогою стандартного символу (знаком якості у вигляді шестерні з текстом англійською мовою всередині малюнка: "Американський інститут нафти. Для бензинових двигунів. Сертифіковано").

Автомобілебудівники європейських країн розробили та ввели у 1996 р. свою класифікацію моторних олив ACEA (Асоціація європейських виробників). Ця класифікація за вимогами до моторних олив суттєво відрізняється від американської API, що зумовлено особливостями експлуатаційних умов та конструктивних рішень в автомобілебудуванні у США та країнах Західної Європи.

#### **Класифікація моторних олив ACEA.**

Ця класифікація діє з 1996 р., замінивши класифікацію PCMC (Комітет виробників автомобілів загального ринку). Вимоги європейських стандартів до якості олив є жорсткішими, ніж американські, оскільки в Європі умови експлуатації та конструкції двигунів значно відрізняються від американських. Двигуни, що виробляються в Європі, характеризуються більш високим ступенем форсування, максимальною частотою обертання колінчастого валу, меншою масою і більшою питомою потужністю. Транспортні засоби з таким двигуном мають високі допустимі швидкості пересування, а міські режими для них важчі.

У класифікації ACEA передбачено три категорії моторних олив: А – для бензинових двигунів; В – для дизельних двигунів малої потужності, що встановлюють-

ся на легкових та вантажних автомобілях малої вантажопідйомності; E – для потужних дизелів.

Кожна категорія складається із кількох класів. Рівень якості та призначення оливо кожного класу позначають цифрами. Крім того, зазначають рік затвердження класу. Наприклад, ACEA A3-98, ACEA E5-99.

Класи категорії A: A1-96, A1-98, A2-96, A3-96, A3-98.

Класи категорії B: B1-96, B1-98, B2-96, B2-98, B3-96, B3-98, B4-98.

Класи категорії E: E1-96, E2-96, E3-96, E4-99, E5-99.

Клас A1-98 – оливи для двигунів легкових автомобілів, що допускають застосування оливо з невеликою високотемпературною в'язкістю (2,9...3,5 мПа·с) в умовах високих швидкостей зсуву, що суттєво зменшує витрату палива. Оливи мають досить високі протизносні властивості.

Клас A3-98 – універсальні оливи з дуже високими експлуатаційними властивостями для потужних бензинових двигунів. Допускаються подовжені інтервали заміни, цілорічне використання та застосування у важких умовах експлуатації.

Клас A5-01. Цей клас відповідає найвищим вимогам до оливо для бензинових двигунів сучасних та перспективних легкових автомобілів.

Клас B1-98 – оливи для дизельних двигунів, що допускають застосування оливо з невеликою високотемпературною в'язкістю (2,9...3,5 мПа·с) при високих швидкостях зсуву, завдяки чому досягається велика економія палива. Оливи мають хороші протизносні властивості.

Клас B2-98 – універсальні оливи, які допускаються до застосування в більшості дизельних двигунів легкових автомобілів при нормальних інтервалах заміни оливо. Не рекомендуються для високофорсованих двигунів.

Клас B3-98 – оливи з високими експлуатаційними властивостями для високофорсованих дизельних двигунів легкових автомобілів. Допускаються подовжені інтервали заміни, цілорічне використання та застосування у важких умовах експлуатації.

Клас B4-98 – універсальні оливи для дизельних двигунів з безпосереднім упрскуванням палива легкових автомобілів та фургонів. Має високі експлуатаційні властивості.

Клас E4-99 – оливи дуже високої якості для потужних та швидко-хідних дизелів Euro1, Euro2, Euro3. Оливи мають збільшені інтервали заміни.

Клас E5-99 – найбільш досконалі оливи, що не мають аналогів за якістю, для дизелів Euro1, Euro2, Euro3. Оливи мають високу стабільність, великий термін служби, забезпечують чистоту двигуна і запобігають зношуванню деталей двигуна. Відповідають високим вимогам європейських та американських автовиробників.

У маркуванні моторних оливо вказують «схвалення» виробників автомобілів. Воно зображується фірмовим знаком або кодом і означає, що застосування цієї оливи схвалено автомобілями цього заводу-виробника. На тарі з моторними оливами зазвичай вказують класифікацію: SAE, API або ACEA.

Приклад маркування моторної оливи: SAE 5W-50, API SJ/CF, ACEA A3-98/B3-98, VW 501.01/505.00, MB 229.1, BMW, Porsche, в'язкістно-температурні властивості позначені SAE 5W-50 (всесезонна олива, що містить у собі властивості оливо зимового SAE 5W та літнього SAE 50 класів). Експлуатаційні властивості за класифікацією API та європейської ACEA, API SJ/CF означає, що олива призначена для бензинових двигунів (SJ), але може бути використана і для дизелів (CF). ACEA A3-

98; V3-98/A3-98 – олива вищого класу для бензинових двигунів з наддувом та без нього сучасних європейських автомобілів; V3-98 – олива вищого класу для дизелів із наддувом легкових сучасних європейських автомобілів.

У зазначеній марці схвалення виробників означає таке:

VW – Volkswagen-Audi, 501.01 – всесезонна олива; 505.00 – для двигунів із турбонаддувом;

MB – Mercedes-Benz, 229.1 – олива для двигунів легкових автомобілів випуску з 1997 р.; BMW, Porsche – назви фірм.

На каністрі з напівсинтетичними оливами зазвичай вказують Semi Synthetic, а повністю синтетичними – Fully Synthetic.

## **5.7 ЗМІНА ЯКОСТІ МОТОРНИХ ОЛИВ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДВИГУНІВ**

У зв'язку з підвищенням потужності, зміною конструкції та ускладненням експлуатації сучасних двигунів умови роботи олив стали жорсткішими. Однак терміни заміни олив безперервно збільшуються завдяки покращенню їхньої якості. Передчасна заміна олив економічно недоцільна, оскільки збільшується їх витрата, витрати на технічне обслуговування, запасні частини і т.д. Невиправдане збільшення термінів служби олив призводить до підвищеного зносу деталей двигуна, що знижує надійність двигуна та збільшує відмови у його роботі. Визначення оптимальної періодичності заміни олив є трудомісткою тривалою роботою, що має важливе економічне та технічне значення.

Періодичне додавання оливи у процесі експлуатації частково відновлює початкові властивості олив. Через певний час олива підлягає повній заміні. Періодичність заміни оливи залежить від її властивостей, типу двигуна, його технічного стану та умов експлуатації, технічного стану масляної системи, способу фільтрації, палива, професійності водія та інших факторів. Необхідність повної заміни обумовлена втратою основних експлуатаційних якостей оливи, тобто її старіння. Основна причина спрацьовуваності (старіння) оливи – окислюваність оливи та спрацьовування присадок. Крім того, відбувається забруднення оливи твердими продуктами її окислення, вуглецевими частинками, пилом, піском, що потрапляють в оливу ззовні, металевими частинками, що утворюються в результаті зносу деталей двигуна, і продуктами корозії металів, незгорілим паливом, сірчистими сполуками, що містяться в відпрацьованих газах, водою, що утворюється при конденсації з відпрацьованих газів і потрапляє ззовні з повітрям, а також випаровування легких фракцій оливи.

Забруднення оливи відбувається в процесі його транспортування, зберігання та заправки. Кількість механічних домішок в оливі може становити 0,2%. Домішки, що потрапляють ззовні та утворюються в процесі експлуатації оливи, змінюють характер тертя, засмічують масляні фільтри та канали, збільшують температурний режим роботи деталей двигуна, викликають їх підвищений знос.

Забруднення оливи домішками викликається підвищенням прориву газів у масляний картер, і навіть продуктами неповного згоряння палива. Підвищений вміст механічних домішок в оливі свідчить про поганий технічний стан системи фільтрації. В результаті використання повнострумовопоточної системи тонкого очищення моторної оливи знос основних деталей двигуна знижується в два-три рази і значно збільшується термін служби моторної оливи.

Сучасні двигуни характеризуються зменшеним обсягом масляної системи, внаслідок чого збільшено продуктивність масляних насосів та кратність циркуляції оливи. Останнє підвищує насичення оливи повітрям, що, у свою чергу, веде до збільшення швидкості її окислення та підвищення зносу деталей двигуна.

Поряд із експлуатацією на форсованих режимах для багатьох автомобілів характерна робота двигуна з частими зупинками, тривалою роботою на холостому ході. У міських умовах двигуни працюють на часткових навантаженнях близько 80% часу. У цьому режимі двигуни працюють на низькотемпературних режимах, особливо у зимовий період. Наприклад, у міських умовах за температури навколишнього повітря  $-10...-15^{\circ}\text{C}$  та поїзді на відстань до 20 км температура рідини у системі охолодження становить близько  $50^{\circ}\text{C}$ . При знижених теплових режимах роботи двигуна збільшується швидкість утворення низькотемпературних опадів, забруднення оливи внаслідок неповного згоряння палива та підвищеної конденсації водяної пари. Тривала робота двигуна на знижених режимах призводить до забруднення поршнів, кілець та підвищеної витрати оливи внаслідок збільшення його чаду.

Відносна витрата оливи залежно від стану маслоз'ємних кілець і зношеності двигуна приблизно наступна:

двигун:

новий, після обкатки – 100%

новий із забитими прорізами маслоз'ємних кілець – 460%

зношений – 722%

зношений із забитими прорізами маслоз'ємних кілець – 4400%

На утворення вуглецевих та інших відкладень на деталях дизелів суттєво впливають вид та склад палива. Так, у відпрацьованих газах дизелів міститься значна кількість сажі. Кількість сажі, що потрапляє в оливу, наприклад, у двигуні типу ЯМЗ-238 за 200 год роботи може становити від 60 до 600 г. Чим гірший технічний стан двигуна, тим більше сажі міститься у відпрацьованих газах і тим більше потрапляє її в оливу. Склад та кількість відкладень на деталях двигуна веде до серйозних порушень у його роботі і може бути причиною виходу з ладу.

Вплив палива на кількість органічних відкладень в оливі різко зменшується під час роботи двигуна на газоподібному паливі. Так, домішок в оливі дизельних двигунів у 5 разів більше, ніж у бензинових, і в 10...20 разів більше, ніж у оливі двигунів, що працюють на газоподібному паливі. За даними НАМІ, в оливі двигуна, що працює на газоподібному паливі, після 10 тис. км пробігу домішок значно менше, ніж після 5 тис. км пробігу того ж автомобіля, що працює на бензині; в оливі вантажного автомобіля, що працює на газоподібному паливі, після 5 тис. км пробігу кількість домішок становила 0,07%, після 10 тис. км пробігу – 0,11%, а в оливі вантажного автомобіля, що працює на бензині, вміст домішок після 5 тис. км пробігу складало 0,4%.

Старіння оливи призводить до закоксовування поршневих кілець, їх пригорання, втрати рухливості; підвищення температури деталей циліндропоршневої групи через погіршення тепловідведення; заклинювання клапанів у напрямних втулках; прогар клапанів; зменшення прохідного перерізу впускного та випускного трактів; забруднення сіток маслоприймників насосів, фільтрів, масляних каналів мастильної системи, дренажних отворів в маслоз'ємних кільцях та поршні; зміни в'язкості оливи; підвищенню корозійного зношування деталей циліндропоршневої групи; аб-

разивного зношування деталей твердими частинками домішок; корозії підшипникових сплавів та іржавінню залізвмісних деталей.

Фільтруючі елементи та вентиляція картера уповільнюють, але не запобігають старінню оливи.

Періодичність заміни оливи встановлюють на основі ретельного вивчення її експлуатаційних властивостей та їх зміни у процесі експлуатації. У сучасних автопарках використовують якісні нові оливи. Однак прийнята періодичність заміни оливи поки що недостатньо обґрунтована, оскільки лише частково враховується досвід експлуатації нової техніки. Тому потрібно коригування термінів заміни, що встановлюються заводом-виробником, після достатнього накопичення та вивчення результатів експлуатації.

Встановлення термінів заміни оливи за зміною їх кольору поки неможливо. Наприклад, олива чорніє через кілька десятків годин роботи внаслідок приробітку присадок. Однак, незважаючи на чорний колір, вона ще має високі експлуатаційні показники якості.

Деякі із бракувальних показників відпрацьованих оливи вказані у таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 – Бракувальні показники відпрацьованих оливи

Показник	Значення показників оливи для двигунів	
	бензинових	дизельних
Зміна в'язкості, %:		
підвищення	25	40
зниження	20	30
Вміст домішок, нерозчинних у бензині, %, трохи більше	1,0	3,0
Вміст води, %, трохи більше	0,3	0,3
Вміст палива, %, не більше	0,8	0,8
Лужне число, мг КОН/г, щонайменше	0,5...2*	1...3*
Зниження температури спалаху, °С, не більше	20	20

\*Більші значення для оливи вищих груп.

Для повсякденного контролю якості працюючої оливи не годяться такі методи, як визначення вмісту продуктів зносу і визначення лужності, хоча ці аналізи є найбільш обґрунтованими і достовірними для визначення спрацьовуваності оливи.

Терміни служби оливи встановлюють, виходячи з економічної та технічної доцільності. Тривалість експлуатації оливи у двигунах, що працюють на газоподібному паливі, у 2 рази більша, ніж у двигунах, що працюють на рідкому паливі. Працюючі двигуна на етильованому бензині термін служби моторної оливи знижується в 1,5...2 рази проти терміну служби оливи у двигуні, що працює на звичайному бензині.

Періодичність заміни оливи встановлює завод-виробник транспортного засобу, вказуючи її в картах та таблицях ТО. Для збільшення терміну служби оливи при її заміні необхідно промивати систему.

Фахівцями НВП «Квалітет» розроблено саморегулюючу мастильну систему двигунів, яка забезпечує значне продовження термінів служби моторної оливи та підвищує її ефективність при експлуатації. Система складається з високооборотних ( $n = 10000...12000 \text{ хв}^{-1}$ ) відцентрових фільтрів – суперцентрифуг та приладу, що під-

тримує стабільність фізико-хімічних властивостей оливи. Цей прилад вводить у оливу нову порцію присадки у міру її спрацьовування. Саморегулююча мастильна система – перший крок до експлуатації двигунів без заміни моторної оливи.

### **5.8 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ**

1. Що таке тертя? Які види тертя Ви знаєте?
2. Що таке змащувальна здатність оливи?
3. Що таке зношування? Які види зношування Ви знаєте?
4. Назвіть основні функції моторної оливи в двигуні.
5. Перелічіть експлуатаційні властивості моторних олив.
6. Дайте визначення індексу в'язкості.
7. Що таке термоокислювальна стабільність?
8. В чому різниця між температурою спалаху та займання?
9. Що таке температура застигання?
10. Перелічіть вимоги до експлуатаційних властивостей моторних олив.
11. Навіщо додають присадки в моторні оливи?
12. Як класифікують моторні оливи за експлуатаційними властивостями?
13. Як класифікують моторні оливи за в'язкістю?
14. Назвіть основну перевагу синтетичних олив перед мінеральними.
15. Яку оливу називають всесезонною загущеною?
16. Як маркують моторні оливи?
17. Які моторні оливи застосовують для бензинових двигунів?
18. Які моторні оливи використовують у дизелях?

## ЛЕКЦІЯ 6. ОЛИВИ РІЗНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

План лекції:

- 6.1 Трансмiсiйнi оливи.
- 6.2 Основнi експлуатацiйнi властивостi трансмiсiйних олив.
- 6.3 Класифiкацiя олив за експлуатацiйними властивостями i призначенням.
- 6.4 Змiна якостi трансмiсiйних олив при експлуатацiї.
- 6.5 Оливи для гiдромеханiчних передач автомобiлiв.
- 6.6 Оливи для гiдравлiчних систем.
- 6.7 Оливи технологiчного призначення.
- 6.8 Контрольнi питання.

### 6.1 ТРАНСМІСІЙНІ ОЛИВИ

Трансмiсiйнi та редукторнi оливи застосовуються у бiльшостi сучасних машин i механiзмiв i служать для змащування зубчастих передач рiзного типу, шестерних редукторiв (цилiндричних, гiпоiдних, черв'якових та iн.), а також є гiдравлiчним робочим тiлом при передачi потужностi в гiдродинамiчних коробках передач.

Робоча температура оливи в агрегатах трансмiсiї транспортних машин та промислових редукторах змiнюється в широких межах: вiд температури навколишнього повітря в момент початку роботи до 120...130°C i навіть 150°C.

Мiнiмальна температура оливи в агрегатах трансмiсiї автомобiлiв у холоднiй зонi може досягати – 60°C, у помiрнiй зонi до – 40°C, а у спекотнiй до –10°C.

Швидкiсть ковзання (для рiзного типу передач вiд 1,5 до 25 м/с) та питомi навантаження на поверхнi зубiв шестерень (вiд 0,5 до 2 ГПа в полюсi зачеплення, а в гiпоiдних передачах до 4 ГПа) багато в чому визначають тип оливи, що застосовується у шестернiй передачi. При збiльшеннi навантаження мастильна плiвка, що роздiляє поверхнi, що труться, може почати руйнуватися, що призведе до безпосереднього контакту металевих поверхонь, їх заiдання i катастрофiчного зносу. Зi збiльшенням швидкостi ковзання знижується температура, при якiй починається заiдання, i з'являються умови для катастрофiчного зносу.

За рiвнем напруженостi роботи зубчастих передач *трансмiсiйнi оливи* можна роздiлити на такi *види*:

- *унiверсальнi*, що забезпечують роботу всiх типiв зубчастих передач та iнших деталей агрегатiв трансмiсiї, що труться;
- *загального призначення*, що застосовуються у цилiндричних, конiчних та черв'ячних передачах автомобiлiв;
- *оливи для гiпоiдних передач* вантажних та легкових автомобiлiв.

Для забезпечення надiйної роботи сучасної технiки трансмiсiйнi та редукторнi оливи повиннi вiдповiдати наступним *основним вимогам*:

- мати достатнiй рiвень протизносних i протизадирних властивостей;
- мати гарнi в'язкiсно-температурнi властивостi;
- не чинити корозiйного впливу на деталi трансмiсiї;
- мати хорошу термоокислювальну стабiльнiсть;
- мати гарнi захиснi властивостi;
- бути нетоксичними та мати гарну сумiснiсть з матеріалами сальникових ущiльнень.

## 6.2 ОСНОВНІ ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ТРАНСМІСІЙНИХ ОЛИВ

*Змащувальні властивості* трансмісійних олиव залежать від їх компонентного складу і кількості антифрикційних, протизносних і протизадирних присадок, що використовуються. Склад оливи залежить від способу її отримання, тобто, від того, з чим поєднується малов'язка олива: з залишковими маслами або з екстрактом (смолкою), одержуваним після селективного очищення олив.

*Змащувальні властивості трансмісійних олив повинні забезпечувати довговічну і надійну роботу агрегатів трансмісії при великих навантаженнях і швидкостях переміщення поверхонь, що труться, знижуючи інтенсивність їх зносу і запобігаючи заїданню* (за допомогою утворення на них тонких плівок, що ізолюють деталі і запобігають зварюванню і заїданню зубів).

Для поліпшення мастильних властивостей олив як присадки використовуються органічні речовини (сірка, фосфор, сполуки з вмістом азоту) і металоорганічні сполуки (свинець, цинк, алюміній та ін.), які утворюють захисні плівки на поверхні металів.

*В'язкісно-температурні властивості* трансмісійних олив мають великий вплив на ККД агрегатів трансмісії, забезпечують безперервність надходження оливи в зону зачеплення зубів шестерень і до тіл кочення, підшипників, а також на здатність зрушення автомобіля з місця при низьких температурах навколишнього повітря.

Рівень в'язкості трансмісійної оливи визначає утворення масляного клина в зоні високонавантажених контактів деталей, що труться. Нижній рівень в'язкості трансмісійної оливи з протизадирними присадками визначається надійністю ущільнень картерів агрегатів трансмісії. При хорошому стані сальників та інших ущільнювачів мінімально допустима кінематична в'язкість оливи може становити  $5 \text{ мм}^2/\text{с}$ .

Максимально допустима кінематична в'язкість оливи при найнижчій робочій температурі становить  $300 \dots 600 \text{ Па}\cdot\text{с}$  – це в'язкість, при якій ще можливе зрушення автомобіля без розігріву оливи в агрегатах.

Характеристики класів в'язкості трансмісійних олив наведено у таблиці 6.1.

Таблиця 6. 1 – Класи в'язкості трансмісійних олив (ДСТУ ГОСТ 17479.2:2019)

Клас в'язкості	В'язкість кінематична при $100^\circ\text{C}$ , $\text{мм}^2/\text{с}$	Температура, за якої динамічна в'язкість не перевищує $150 \text{ Па}\cdot\text{с}$ , $^\circ\text{C}$
9	6,00...10,99	-45
12	11,00...13,99	-35
18	14,00...24,99	-18
34	25,00...41,00	-

## 6.3 КЛАСИФІКАЦІЯ ОЛИВ ЗА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ І ПРИЗНАЧЕННЯМ

За класифікацією API трансмісійні оливи ділять на категорії залежно від конструкційних особливостей трансмісій, умов їх експлуатації та вмісту присадок. У таблиці 6.2 дана класифікація трансмісійних олив по API за умовами експлуатації та областями застосування та відповідність їй вітчизняних груп трансмісійних олив.

Позначення трансмісійних оливо відповідно до ДСТУ ГОСТ 17479.2:2019 включає літери ТМ, цифри, що характеризують приналежність до групи оливо за експлуатаційними властивостями, і цифри, що позначають клас кінематичної в'язкості (при температурі 100°C).

Наприклад, ТМ-5-93 – трансмісійна олива 5-ї групи, тобто, з багатофункціональними та протизадирними присадками високої ефективності, 9-го класу в'язкості, загущене.

Таблиця 6.2 – Відповідність вітчизняних груп трансмісійних оливо до класифікації за АРІ

Група оливи		Область застосування
За ДСТУ ГОСТ 17479.2:2019	За АРІ	
ТМ-1	GL-1	Механізми, для яких необхідні оливи з депресорними та антипінними присадками
ТМ-2	GL-2	Механізми, для яких необхідні оливи з антифрикційними присадками
ТМ-3	GL-3	Ведучі мости зі спіралью-конічними передачами, що вимагають використання оливо зі слабкими протизадирними присадками
ТМ-4	GL-4	Гіпоїдні передачі, що вимагають використання оливо із протизадирними присадками середньої активності
ТМ-5	GL-5	Гіпоїдні передачі вантажних та легкових автомобілів, що вимагають використання оливо з активними протизадирними та протизносними присадками
–	GL-6	Гіпоїдні передачі, що працюють у дуже важких умовах і вимагають використання оливо з високоефективними протизадирними та протизносними присадками

Група ТМ-1 включає нігролі – оливи для промислового обладнання, що випускаються за ТУ 38.101.529-75. Ці оливи застосовують також в агрегатах трансмісій деяких тракторів, сільськогосподарських та дорожньо-будівельних машин, планетарних передачах підйомних кранів та екскаваторів. Нігролі є неочищеними залишками прямої перегонки нафти і характеризуються великим вмістом смол, асфальтенив, механічних домішок. Експлуатаційні властивості нігролів невисокі, що обмежує масштаби їх застосування.

До цієї ж групи належать тракторна олива АК-15 (ТУ 38.001280-76), яка в даний час використовується дуже обмежено, та олива ТС-14,5 (ТУ 38.101.110-71) для малонавантажених агрегатів трансмісій деяких автомобілів та тракторів, одержувана змішуванням залишкової оливи та дистилятної оливи селективного очищення з додаванням депресорної присадки.

До групи ТМ-2 відноситься олива ТСП-10-ЕФО (ТУ 38.101701-77), що є сумішшю деасфальтизату та низькозастигаючої дистилятної оливи, до якої додані протизносні та депресорні присадки. У цю ж групу входять олива ТЕС-15 та олива для коробок передач та кермового управління ТЗ (ТУ 38.1011332-90).

У групу ТМ-3 входить олива ТСП-10 (ТУ 38.401809-90), а також оливи ТАП-15В і ТСП-15К, що випускаються за ДСТУ ГОСТ 23652-79.

До групи ТМ-4 відноситься олива ТСП-15 (ГОСТ 23652-79), і оливи ТСЗ-9гіп (ТУ 38.1011238-89) і ТСгіп (ТУ 38.1011332-90) для гіпоїдних передач.

У групу ТМ-5 входять оливи ТМ5-12(рк) (ТУ 38.101844-80) та ТАД-17 (ДСТУ ГОСТ 23652-79).

У таблиці 6.3 наведено відповідність марок вітчизняних та зарубіжних трансмісійних олив.

Таблиця 6.3 – Відповідність марок вітчизняних та зарубіжних трансмісійних олив

Вітчизняна олива	Закордонна олива	
	Марка, стандарт	Класифікація
ТЕП-15 (ТМ-2-18) ДСТУ ГОСТ 23652-79	API GL-1	Shell, Dentax 90, Mobil, Mobilube C90
ТСП-10 (ТМ-3-9) ДСТУ ГОСТ 23652-79	API GL-3	Shell, Spirax EP 80W, BP, Gear Oil 80EP
ТСП-15к (ТМ-3-18) ДСТУ ГОСТ 23652-79	API GL-3	Shell, Spirax EP 90W, Mobil, Mobilube CX90
ТАП-15в (ТМ-3-18) ДСТУ ГОСТ 23652-79	API GL-3	BP, Gear Oil GP90, Caltex, Thuban 90
ТСЗ-9гіп (ТМ-4-9з) ДСТУ ГОСТ 101158-78	API GL-4	Shell, Spirax EP 75W, BP, Gear Oil 75W EP
ТАД-17и (ТМ-5-18) ДСТУ ГОСТ 23652-79	API GL-5	Shell, Spirax ND 90, Mobil, Mobilube ND 90

В таблиці 6.4 дана класифікація SAE J306 трансмісійних олив за в'язкістю.

Таблиця 6.4 – Класифікація трансмісійних олив за в'язкістю (SAE J306)

Клас в'язкості за SAE	Максимальна температура для в'язкості 150000 сПз, °С	Кінематична в'язкість при 100°С, мм <sup>2</sup> /с (сСт)	
		мінімальна	максимальна
70W	-55	4,1	
75W	-40	4,1	—
80W	-26	7	—
85W	-12	11	—
80	—	7	< 11
85	—	11	< 13,5
90	—	13,5	< 24
140	—	24	< 41
250	—	41	—

В'язкість оливи слід вибрати з урахуванням максимальної та мінімальної температури застосування техніки. Тому стандарт SAE поширюється лише на значення в'язкості трансмісійної оливи, що вимірюються при високих та низьких температурах.

Оливи класів в'язкості SAE 70W...85W призначені для експлуатації у зимовий час; класів SAE 80...250 – влітку.

Трансмісійні оливи, які одночасно задовольняють високо- та низькотемпературним вимогам, називають всесезонними. Їх найчастіше використовують у техніці. Наприклад, олива для середньої кліматичної зони класу SAE 80W-90 задовольняє низькотемпературним вимогам для оливи SAE 80W (тобто при температурі  $-26^{\circ}\text{C}$  динамічна в'язкість оливи не перевищує 150000 сПз) і високотемпературним для оливи SAE 90 (тобто при  $100^{\circ}$  в'язкість знаходиться в межах 13,5 ... 24 сСт).

Приклади позначення трансмісійних олив SAE і API:

Норсі SAE 85W-90, API GL-5, де Норсі – назва фірми, 85W – в'язкість при низькій температурі, 90 – в'язкість при  $100^{\circ}\text{C}$ , GL – мастильний матеріал для передач, 5 – група оливи.

Тейбол SAE 10W-30, API CD/SF, GL-4 – універсальна олива, застосовується в двигунах (головним чином у дизелях), трансмісіях і гідравлічних системах.

#### **6.4 ЗМІНА ЯКОСТІ ТРАНСМІСІЙНИХ ОЛИВ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

Трансмісійні оливи замінюють при значній зміні показників їх якості. Умови експлуатації конкретної конструкції трансмісії є основним чинником, що визначає термін заміни оливи. Під умовами експлуатації мають на увазі навантаженість трансмісії, температурний режим, інтенсивність забруднення оливи пилом, водою та продуктами зношування деталей. Кварцовий пил різко знижує протизносні властивості оливи, які неможливо компенсувати (поліпшити) найефективнішими присадками. При попаданні в оливу води зношування збільшується в 2 рази.

Оливу слід змінювати при підвищенні в'язкості на 50%. Необхідною умовою тривалої роботи оливи є надійна герметизація трансмісії.

Середньостатистичні інтервали зміни вітчизняних олив складають:

- для автоматичних коробок передач легкових автомобілів, а також коробок передач та інших агрегатів трансмісій вантажних автомобілів 30...50 тис. км;
- для коробок передач та інших агрегатів трансмісій рухомої техніки у важких режимах роботи 15...30 тис. км.

#### **6.5 ОЛИВИ ДЛЯ ГІДРОМЕХАНІЧНИХ ПЕРЕДАЧ АВТОМОБІЛІВ**

Оскільки гідромеханічна передача (ГМП) включає кілька різнохарактерних вузлів – гідротрансформатор, шестеренну коробку передач, складну систему автоматичного управління – до оливи, що працює в ГМП, пред'являються більш жорсткі вимоги, ніж до оливи для звичайних механічних коробок передач. Через відсутність жорсткого зв'язку між двигуном та трансмісією максимальні динамічні навантаження на трансмісію у цих автомобілів менші (за результатами випробувань – у 1,5-3 рази).

У ГМП олива виконує різні функції. Розглянемо основні з них:

- ✓ потужність, що розвивається двигуном, олива передає механічному редуктору;
- ✓ олива виконує роль робочої рідини системи автоматичного управління та змащує вузли гідروпередачі;
- ✓ у фрикційних муфтах і гальмах олива також є робочим середовищем;
- ✓ в системі гідропередачі олива виконує роль охолоджуючого середовища.

Особливості конструкції, а також наявність у ГМП різних за пристроєм та

умовами роботи агрегатів пред'являють до оливи жорсткі, часом суперечливі вимоги (наприклад, підвищена щільність і мала в'язкість, мала в'язкість і високі протизносні властивості, високі протизносні властивості і високі фрикційні властивості).

Середня температура оливи в картері ГМП становить 80...95°C, а в літній період при міському циклі руху – до 150°C. Це дає підставу вважати ГМП найбільш теплонапруженим з усіх агрегатів трансмісії автомобіля. На відміну від механічної коробки температура оливи в ГМП підвищується головним чином за рахунок внутрішнього тертя (швидкість перебігу оливи в гідротрансформаторі значна – 80-100 м/с). Крім того, конструкція ГМП така, що якщо з двигуна знімається більша потужність, ніж це необхідно для подолання дорожнього опору, надмірна потужність витрачається на внутрішнє тертя оливи, що ще більше підвищує її температуру. Створення в гідротрансформаторі високошвидкісних потоків руху оливи призводить до інтенсивної аерації, посиленого піноутворення, що створює умови підвищення окислення оливи.

**В'язкість оливи** для ГМП є одним з найважливіших його експлуатаційних показників. Вимоги до в'язкості оливи зумовлені прагненням досягти найбільшого к.к.д. гідротрансформатора, а також забезпечити надійну роботу деталей, що змащуються.

**Щоб забезпечити роботу гідротрансформатора з більш високим к.к.д., олива повинна бути найменш в'язкою.** Так, підвищення в'язкості оливи у зв'язку зі зниженням її температури з 90°C до 30°C призводить до зниження к.к.д. гідротрансформатора у середньому на 5...7%. З іншого боку, для забезпечення наявності на поверхнях тертя міцної масляної плівки, а також зниження витоків через ущільнювальні пристрої олива повинна бути відносно в'язкою.

**Для отримання найбільшого к.к.д. гідротрансмісії рекомендується застосовувати оливу в'язкістю не вище 4...5 мм<sup>2</sup>/с при 100°C.** Застосування оливи з мінімально можливою в'язкістю доцільно ще й тому, що при цьому забезпечуються її нижчі температури в гідропередачі за рахунок збільшення циркуляції та підвищеної теплопровідності такої оливи.

Іншим важливим експлуатаційним показником оливи для ГМП є її **протизносні властивості**. Велика різноманітність матеріалів пар тертя в ГМП (сталь-сталь, сталь-металокераміка і т.д.) ускладнює підбір олив та присадок до них.

Проблема підбору присадок обумовлена тим, що одні присадки, знижуючи знос чорних металів, викликають знос кольорових металів, інші навпаки. Крім того, підбір присадок до олив для ГМП ускладнений вимогою наявності певних фрикційних властивостей оливи. Для нормальної роботи фрикційних дисків зчеплення олива повинна забезпечувати підвищений коефіцієнт тертя (від 0,1...0,2 до 0,16...0,18). При коефіцієнті тертя, меншому 0,1, робота дисків зчеплення супроводжується їх пробуксовкою, а при коефіцієнті тертя, більшому 0,18 – ривками. В обох випадках це веде до передчасного виходу з ладу фрикційних дисків.

Висока робоча температура оливи в ГМП, безпосередній контакт з великою кількістю повітря в присутності каталітично активних кольорових металів викликають швидке **окислення оливи** в об'ємі, тонкому шарі та туманоподібному стані. Окислення оливи, крім його загального забруднення та підвищення вмісту кислих продуктів, призводить до порушення нормальної роботи окремих вузлів гідропередачі (фрикційних дисків). На окислюваність оливи в ГМП великий вплив мають

конструктивні особливості агрегату, а також умови експлуатації автомобіля. Так, наприклад, їзда в межах міста з частими зупинками і зниженими швидкостями руху викликає більш швидке окислення оливи, ніж їзда міжміськими трасами.

Щоб знизити інтенсивність окислення оливи та зменшити відкладення лаку та шламу на деталях гідропередачі, до оливок додають **протиокислювальні та миючі присадки**.

Оскільки деталі ГМП виготовлені з різноманітних металів та їх сплавів, необхідно, щоб корозійна агресивність оливи до різних матеріалів була мінімальною. Найбільш схильні до корозії деталі, виготовлені на основі кольорових металів. Для запобігання корозії деталей ГМП в оливу додають **протикорозійні присадки**. Крім мінімальної корозійної агресивності оливи до металів, вона не повинна шкідливо діяти на гумові ущільнювальні пристрої, тобто, не повинна викликати надмірного набухання або усадки гумових деталей, що призводять до витоків оливи. Допускається набухання гуми від 1 до 6%.

Оскільки олива ГМП є робочим тілом, що передає потужність, важливо, щоб у процесі роботи вона зберігала свою однорідність, тобто, щоб вона мало спінювалась. Для цього додають **протипінні присадки**, які можуть бути двох типів: розчинні та нерозчинні в оливі. Для ГМП виробляється олива марки – А.

Слід також враховувати, що олива, крім передачі потужності, забезпечення надійного змащення всіх деталей, що труться, і надійної роботи фрикціонів, повинно також ефективно охолоджувати деталі трансмісії а, отже, мати якомога більшу теплоємність. Питома теплоємність оливи для ГМП у діапазоні робочих температур має значення 2,08...2,12 кДж/(кг·°С).

## 6.6 ОЛИВИ ДЛЯ ГІДРАВЛІЧНИХ СИСТЕМ

**Умови роботи.** Гідравлічні оливи, будучи робочим тілом в гідросистемах автомобільної техніки, передають потужності і приводять у дію різні агрегати і механізми, а також оберігають деталі, що труться від зносу, відводять надлишкове тепло і видаляють продукти зносу і забруднення.

Гідравлічним оливам характерні такі умови роботи:

- ✓ великі перепади температур від -30...-40 до +50...+80 °С;
- ✓ тиск у системі 10...15 МПа;
- ✓ швидкість ковзання до 20 м/с;
- ✓ контакт із чорними та кольоровими металами, ущільненнями та шлангами при високих тисках та температурах.

**Експлуатаційні вимоги.** Гідравлічні оливи повинні мати:

- ✓ хороші низькотемпературні властивості (їх температура застигання повинна бути нижчою на 5...10°С температури навколишнього повітря в початковий період роботи гідросистеми);
- ✓ хороші в'язкісно-температурні властивості (для швидкого спрацьовування гідровузла в'язкість не повинна бути високою, а з іншого боку – повинна бути на достатньому рівні) для забезпечення плавності ходу та запобігання зносу;
- ✓ хороші змащувальні властивості та властивості, що не допускають корозії металів та сплавів, а також руйнування ущільнень;
- ✓ хороші антипінні властивості (здатність рідини виділяти повітря без утворення піни);

- ✓ хорошу стабільність при експлуатації та зберіганні, відсутність води та механічних домішок.

**Класифікація гідравлічних оливо.** За кінематичною в'язкістю гідравлічні оливи ділять на 10 класів (табл. 6.5), а залежно від експлуатаційних властивостей – на 3 групи (табл. 6.6).

Таблиця 6.5 – Класи в'язкості гідравлічних оливо

Клас в'язкості	Кінематична в'язкість, мм <sup>2</sup> /с, при температурі 40°C	Клас в'язкості	Кінематична в'язкість, мм <sup>2</sup> /с, при температурі 40°C
7	4,14-5,06	32	28,80-35,20
8	6,12-7,48	46	41,40-50,60
10	9,00-11,00	68	61,20-74,80
15	13,50-16,50	100	90,00-110,00
22	19,80-24,20	150	135,00-165,00

За в'язкісними властивостями гідравлічні оливи умовно поділяються на:

- малов'язкі – класи в'язкості з 5 до 15;
- середньов'язкі – класи в'язкості 22 та 32;
- в'язкі класи – класи в'язкості з 46 до 150.

Таблиця 6.6 – Групи гідравлічних оливо за експлуатаційними властивостями

Група оливи	Склад оливи	Рекомендована область застосування
А	Мінеральні оливи без присадок	Гідросистеми з шестерневими поршне-вими насосами, що працюють при тиску до 15 МПа та температурі оливи в обсязі до 80°C
Б	Мінеральні оливи з антиокислювальними та антикорозійними присадками	Гідросистеми з насосами всіх типів, що працюють при тиску до 25 МПа та температурі оливи в обсязі більше 80°C
В	Те саме з протизносними присадками	Те саме при 90°C

Примітка. Допускається введення в гідравлічні оливи загущуючих (в'язкісних) та антипінних присадок.

Позначення гідравлічних оливо складається із трьох груп знаків: літер МГ (мінеральне гідравлічне); цифри, що характеризують клас кінематичної в'язкості; літери, що вказує на приналежність оливи до групи з експлуатаційних властивостей.

Для гідромеханічних коробок передач застосовуються оливи марок А і Р (ТУ 38.1011282-89) та олива МГТ (ТУ 38.1011103-87).

Олива марки А застосовується всесезонно в гідротрансформаторах та гідромеханічних передачах автомобілів та автобусів. Вона виготовляється на основі глибокоочищеної оливи з введенням протизносної, антиокислювальної, депресорної та антипінної присадок.

Олива марки Р застосовується в гідропідсилювачах кермового керування автомобілів. Її основою служить веретена олива АУ, в яку введено той же комплекс присадок, що і в оливу марки А.

Олива марки МГТ (ТУ 38.1011103–87) є високоочищеною основою, в яку введено комплекс вискоефективних функціональних присадок, що забезпечують високий індекс в'язкості та хороші низькотемпературні властивості. Застосовується вона у гідромеханічних коробках передач автомобільної та гусеничної техніки.

## 6.7 ОЛИВИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

**Індустріальні оливи.** Нафтопереробна промисловість виготовляє великий асортимент сучасних індустріальних олив з високими експлуатаційними властивостями.

До індустріальних олив відноситься велика група олив, призначених для змащування поверхонь тертя металообробних верстатів, електродвигунів, вентиляторів, насосів та іншого промислового обладнання при температурах до 50°C. Крім того, індустріальні оливи використовують як робочу рідину в гідропідсилювачі керма автомобіля, гідросистемах сільськогосподарських машин, верстатів та іншого обладнання. Головний показник, що характеризує експлуатаційні властивості індустріальних олив – в'язкість, що нормується при 40°C.

Основні експлуатаційні вимоги до індустріальних олив:

- ✓ відсутність корозійно-активних речовин, абразивних домішок і води;
- ✓ в'язкісно-температурна стабільність і низька температура застигання.

Залежно від призначення індустріальні оливи ділять на чотири групи (ДСТУ ГОСТ 17479.4–87):

Л – легконавантажені складальні одиниці (шпинделі, підшипники та пов'язані з ними сполуки);

Г – гідравлічні системи;

Н – напрямні ковзання;

Т – важко навантажені складальні одиниці (зубчасті передачі).

Позначення за вказаним стандартом відповідають класифікації ISO 6743/0–81, групам олив які відповідно позначають літерами F, H, G та C.

За експлуатаційними властивостями індустріальні оливи ділять на підгрупи: А, В, С, Д, Е. Наприклад оливи підгрупи А – це оливи без присадок, призначені для машин та механізмів промислового обладнання, умови роботи яких не висувають особливих вимог до антикорозійних та антиокислювальних властивостей олив.

Залежно від в'язкості індустріальні оливи ділять на 18 класів.

Приклад позначення індустріальної оливи: І-ЛГ-А-15 (І-12А), де І – індустріальне, ЛГ – для легконавантажених складальних одиниць та гідравлічних систем, А – без присадок, 15 – клас в'язкості, у дужках – загальноприйняте позначення.

Області застосування деяких індустріальних олив такі:

І-ЛГ-А-15 (І-12А) – як робоча рідина в гідросистемах сільськогосподарських машин, гідропідсилювачах керма автомобілів, у підшипниках малопотужних електродвигунів, гідросистемах верстатів, шпинделях металорізальних верстатів, що працюють з частотою обертання до 10000 хв<sup>-1</sup>;

І-Г-А-32 (І-20А) – гідросистеми будівельних, дорожніх та інших машин, підшипники вентиляторів, насосів, шпинделі свердлильних верстатів (до 1500 хв<sup>-1</sup>);

I-Г-А-46 (I-30А) – гідросистеми важких верстатів, підшипники насосів та вентиляторів, токарні, фрезерні верстати (до 1000 хв<sup>-1</sup>);

I-Г-А-68 (I-40А) – гідросистеми важкого обладнання та великих верстатів, важконавантажені малошвидкісні механізми.

**Компресорні оливи.** Залежно від вимог і областей застосування компресорні оливи поділяють на три класи:

- для поршневих і ротаційних компресорів;
- для турбокомпресорних машин;
- для компресорів холодильних машин.

Для поршневих та ротаційних компресорів. У цих компресорів олива безпосередньо контактує зі стислим газом, що має високу температуру. Експлуатаційні вимоги до компресорної оливи значною мірою визначаються складом та властивістю газу.

Відповідно до існуючих норм температура повітря після кожного ступеня стиснення повітряних компресорів повинна бути не більше 170°C для загальнопромислових компресорів і не вище 180°C для компресорів технологічного призначення. Тому **основні експлуатаційні вимоги**, що пред'являються до компресорних оливи – їхня висока термоокислювальна стабільність і здатність запобігати коксоутворенню в лінії нагнітання компресора. Утворення цих твердих продуктів розпаду та ущільнення оливи спричиняють пожежі в компресорах.

**В'язкість оливи** є основною характеристикою компресорних оливи. Від в'язкості залежать знос поверхонь деталей, що труться, втрата енергії на тертя, ущільнення поршневих кілець, тривалість пуску компресора, температура поверхонь тертя. Утворення коксових відкладень залежить як від термоокислювальної стабільності, так і від в'язкості оливи. Малов'язка олива швидше переміщується нагнітальним трактом компресора, завдяки чому в системі нагнітання утворюється менше відкладень. Відповідно до правил Міжнародної асоціації зі стандартизації (ISO) коксові відкладення слід своєчасно видаляти. Товщина шару коксових відкладень між чистками нагнітальної системи повинна бути не більше 3 мм при тиску менше 1 МПа, 2 мм при 2...3 МПа та 1 мм при 3...5 МПа.

Компресорні оливи поділяють на чотири групи:

1 – для компресорів, що працюють при помірних режимах стиснення газу та температурі нагнітання нижче 160°C;

2 – те саме, при температурі нагнітання нижче 180°C;

3 – для компресорів, що працюють у важких умовах при температурі нагнітання нижче 200°C;

4 – для компресорів високого тиску, що працюють в особливо важких умовах при температурі нагнітання вище 200 °C.

Приклад позначення марки компресорної оливи: К-19 де К – компресорна олива, 19 – кінематична в'язкість при 100°C. Належить до першої групи. Групу оливи вказують цифрою після літери К, крім першої групи.

Оливу К-19 без присадок отримують з малосірчистих нафт шляхом селективного очищення. Служить для змащування поршневих компресорів середнього та високого тиску, де потрібні оливи з низьким вмістом сірки.

Оливу КС-19 без присадок виробляють із сірчистих парафінистих нафт методом селективного очищення. Застосовують для поршневих компресорів середнього та високого тиску.

Олива КС-19п містить антиокислювальну присадку "Іонол". Одержують із сірчистих парафінистих нафт методом селективного очищення. Служить для змащування поршневих компресорів середнього та високого тиску.

Олива КЗ-10 містить присадки, що зменшують утворення коксових відкладень у нагнітальній лінії компресора, а також підвищують антиокислювальні, антикорозійні, змащувальні та антипінні властивості оливи. Призначена для змащування поршневих та ротаційних компресорів із температурою нагнітання до 200°C.

Оливу КЗ-10Н отримують за тією ж технологією, що і оливу КЗ-10, додатково вводячи депресорну присадку з метою зниження температури застигання оливи. Має хороші пускові властивості при низьких температурах навколишнього повітря. Призначена для змащування поршневих та ротаційних компресорів із температурою нагнітання до 200°C.

Для компресорів охолоджувальних машин. У промисловості та сільському господарстві широко застосовують різні холодильні установки, для компресорів яких випускають спеціальні оливи. Основні особливості умов роботи цих оливи: постійний контакт з холодильним агентом (фреоном, аміаком, вуглекислою); безперервна зміна тиску та температури середовища. Оливи для холодильних установок повинні мати наступні властивості:

- ✓ не реагувати з холодильним агентом;
- ✓ не викликати корозії кольорових металів;
- ✓ мати пологую в'язкісно-температурну криву;
- ✓ мати низьку температуру застигання.

У герметичних нерозбірних агрегатах компресорів холодильників застосовують високостабільні оливи, що працюють без заміни весь період експлуатації. Найбільш часто використовують малов'язкі, глибоко очищені нафтові оливи з антиокислювальною присадкою та депресаторами, а також оливи на синтетичній основі.

Оливи для компресорів холодильних установок ділять на дві групи: ХА – для компресорів, що працюють на аміаку чи вуглекислоті; ХФ – для компресорів, які працюють на фреонах.

**Електроізоляційні оливи.** Електроізоляційні оливи, будучи рідкими діелектриками, служать для ізоляції струмонесучих частин трансформаторів, конденсаторів, кабелів і т.п. Вони також служать тепловідвідним середовищем та сприяють швидкому гасінню електродуги у вимикачах. Електроізоляційні оливи ділять на трансформаторні, конденсаторні та кабельні. Найбільш поширені трансформаторні оливи, які використовують у сердечниках трансформаторів, реостатах, масляних вимикачах.

Трансформаторну оливу отримують з малосірчистих і сірчистих парафінових нафт методом фенольної очистки з подальшою низькотемпературною депарафінізацією. Ретельне очищення оливи необхідне для отримання високих діелектричних властивостей (висока пробивна напруга) та стабільності. Промисловість випускає трансформаторні оливи декількох сортів, які розрізняються по використаній сировині, способу отримання та області застосування.

Оливу ТКп виробляють з малосірчистих нафт методом кислотного-лужного очищення. Воно містить присадку "Іонол". Кінематична в'язкість оливи при 50°C трохи більше 9 сСт, температура застигання не вище -45°C. Її рекомендують використовувати для обладнання напругою до 500 кВ.

Оливу селективного очищення одержують із сірчистих парафіністих нафт методом фенольного очищення. В'язкість оливи при 50°C трохи більше 9 сСт, температура застигання не вище –45°C. Її застосовують для обладнання напругою до 220 кВ.

Оливу Т-1500У виробляють із сірчистих парафіністих нафт, вводячи присадку «Іонол». При виробництві використовують процеси селективного очищення та гідрування. В'язкість оливи при 50 °С не більше 8 сСт, температура застигання не вище –45 °С. Вона призначена для електроустаткування напругою до 1500 кВ.

Оливу ГК отримують гідрокрегінгом із сірчистих парафіністих нафт, вводячи присадку «Іонол». Олива має високі діелектричні властивості і стабільність до окислення. Її застосовують у електрообладнанні вищого класу.

## **6.8 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ**

1. У яких умовах працюють трансмісійні оливи?
2. Які експлуатаційні вимоги до них висувають?
3. Як класифікують трансмісійні оливи за в'язкістю?
4. Розкажіть про групи трансмісійних олив, класифікованих за експлуатаційними властивостями.
5. Які оливи застосовують у трансмісіях тракторів?
6. Які оливи застосовують у трансмісіях вантажних автомобілів?
7. Які вимоги висувають до гідравлічних олив?
8. Як класифікують гідравлічні оливи?
9. Де застосовують індустріальні оливи?
10. Які вимоги пред'являють до експлуатаційних властивостей індустріальних олив?
11. Як маркують індустріальні оливи? Вкажіть основні марки олив, які використовуються у сільськогосподарському виробництві.
12. Розкажіть про компресорні оливи та їх властивості.
13. Назвіть марки компресорних олив.
14. Для чого служать електроізоляційні оливи?

## ЛЕКЦІЯ 7. ПЛАСТИЧНІ МАСТИЛА ТА ТЕХНІЧНІ РІДИНИ

План лекції:

- 7.1 Загальні відомості про пластичні мастила
- 7.2 Експлуатаційні властивості мастил
- 7.3 Класифікація та маркування мастил
- 7.4 Асортимент пластичних мастил
- 7.5 Охолоджувальні рідини
- 7.6 Гальмівні рідини
- 7.7 Амортизаторні рідини
- 7.8 Пускові рідини
- 7.9 Контрольні питання

### 7.1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПЛАСТИЧНІ МАСТИЛА

**Пластичні мастила** являють собою мазеподібні продукти, що широко застосовуються для змащування вузлів тертя різних механізмів і машин. Ці мастила істотно відрізняються від рідких мінеральних олив. За механічними властивостями пластичні мастила займають проміжне положення *між твердими речовинами та рідинами*. Під впливом малих навантажень вони проявляють себе, як *тверді тіла*, а за високих напругах зсуву – як *рідини*, тобто мають плинність.

Вивчення пластичних мастил показало, що вони є колоїдними системами, де кристали загусника утворюють структурний каркас, 80...90% внутрішнього обсягу якого становить рідка олива. Характерна особливість пластичних мастил – оборотність процесу руйнування структурного каркаса: під дією великих навантажень каркас руйнується, і мастило працює як рідина, а при знятті навантаження каркас миттєво відновлюється і мастило знову набуває властивостей твердого тіла.

**Основні переваги мастил** перед олівами: здатність утримуватися в негерметизованих вузлах тертя, тобто відсутність плинності при малих та середніх навантаженнях; кращі мастильні та захисні властивості, висока економічність. Саме здатності утримуватися у відкритих та слабогерметизованих вузлах тертя пояснюється широке поширення пластичних мастил. Їх використовують там, де неможливо використовувати рідкі оливи. Число механізмів і вузлів тертя, що змащуються пластичними мастилами, на порядок більше, ніж ті, що змащуються оливою. Застосування мастил замість олив дозволяє знизити масу вузла тертя приблизно на 25%. **Недоліки пластичних мастил** - погана охолоджувальна здатність поверхонь, що труться, відсутність вимивання продуктів зносу із зони тертя, складність подачі до вузла тертя.

**Пластичне мастило складається з двох компонентів:** масляної основи (мінеральної, синтетичної, рослинної або іншої оливи) та твердого загусника (мильного або немилного). Мастила зазвичай містять стабілізатор структури та присадки, нерідко й різні наповнювачі (графіт, дисульфід молібдену, порошкоподібні метали або їх оксиди та ін.). Загущувач утворює твердий структурний каркас, усередині якого міститься олива. Такі мастила називають **структурованими**. Мастила, у складі яких знаходяться м'які метали або їх оксиди, називають **шокующими**. Вміст загусника в мастилах становить 10...20%. Найбільш поширені загусники – металеві мила високомолекулярних жирних кислот або природних жирів. Використовуючи ці загусники, отримують мильні мастила.

Існують також вуглеводневі, бентонітові, силікагелеві та інші мастила, в яких загусником служать тверді вуглеводні та неорганічні речовини. Це так звані немилні мастила. Широко поширені тверді мастила, які використовують при високих температурах та тисках. До них відносяться і антифрикційні мастила, що складаються з двосірчастого молібдену, сполучної речовини та летючого розчинника. Таке мастило наносять на поверхню деталі та нагрівають її. Розчинник випаровується, а на поверхні деталі залишається міцна плівка, що оберігає її від зносу при роботі. Тверді мастила працездатні за нормальної температури 250...350°C.

## 7.2 ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ПЛАСТИЧНИХ МАСТИЛ

Основні експлуатаційні властивості пластичних мастил – межа міцності на зсув, в'язкість, механічна стабільність, термічна стабільність та термозміцнення, колоїдна та хімічна стабільність, водостійкість та здатність запобігати фреттингу. Поряд із реологічними характеристиками (міцнісними та в'язкісними) важливе значення для оцінки якості мастила мають *трибологічні характеристики – навантаження та навантаження зварювання*.

*Межа міцності на зсув* характеризується мінімальною напругою зсуву, при якому в пластичному мастилі руйнується структурний каркас і вона набуває плинності. *Межею міцності на зсув пластичного мастила називається критичне значення сили, віднесене до одиниці площі зсуву шарів мастила*.

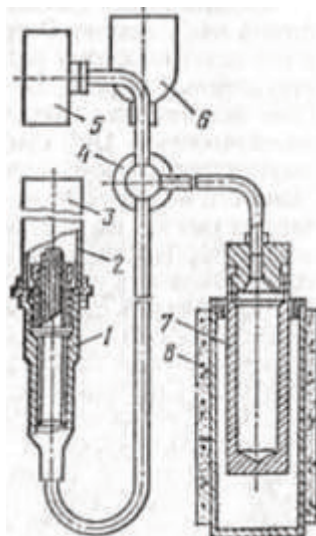
Значення межі міцності на зсув визначається якістю загусника та його концентрацією в пластичному мастилі. Межа міцності залежить від температури: при підвищенні температури вона знижується. Однак у деяких мастил (наприклад, комплексних кальцієвих, силікагелевих) спостерігається протилежне явище – підвищення межі міцності із збільшенням температури. Температура, при якій межа міцності стає рівною нулю, є справжньою температурою переходу мастила з пластичного стану в рідке, обмежуючи застосування пластичного мастила. Чим вище межа міцності на зсув пластичного мастила, тим краще воно утримується на поверхні і менше стікає.

У таблиці 7.1 вказано значення межі міцності на зсув деяких пластичних мастил.

Таблиця 7. 1 – Межі міцності на зсув пластичних мастил

Мастило	Значення межі міцності на зсув, Па, при температурі	
	20°C	50°C
Солідол С	300...700	200...350
Прес-солідол С	70...200	60...180
Графітне	300...700	200...300
Літол-24	500...1000	400...600
Фіол-1	≥250	200...250
ЦИАТИМ-221	250...450	120...300
ЦИАТИМ-201	350...500	250...350
Мастило № 158	150...500	150...300

Межу міцності на зсув пластичного мастила визначають на пластометрі К-2 (рис. 7.1), який складається з основи зі стійкою, по якій вертикально переміщується електропіч 7 з оливою, манометра 5, воронки 6 (для додавання оливи в прилад) і крана 4 (для поєднання воронки із внутрішньою порожниною приладу).



1 - корпус; 2 - оправка; 3 - захисне скло; 4 - кран; 5 - манометр;  
6 - воронка; 7 - ємність для оливи; 8 - електропіч.

Рисунок 7.1 – Пластометр К-2

Корпус 1 пластометра трубкою з'єднаний із внутрішньою порожниною приладу. Всі внутрішні порожнини приладу К-2, включаючи манометр, заповнені малов'язкою оливою з метою повного витіснення повітря.

Межу міцності (Па) випробуваного пластичного мастила обчислюють за формулою:

$$\tau = \frac{100000 \cdot pr}{2l},$$

де  $p$  – максимальний тиск, що визначається за манометром 5 (рис. 7.1);  
 $r$  та  $l$  – радіус та довжина капіляра. Зазвичай  $l = 5$  см або  $l = 10$  см.

Перемішаним мастилом заповнюють обидві половинки жолоба капіляра, і вставляють його в оправку 2. Пластомір заповнюють оливою, для чого відкривають кран 4 воронки 6 і тримають його відкритим доти, поки рівень оливи в корпусі не досягне верхнього обрізу буртика оправки 2. Включають електропіч, що обігріває резервуар з оливою, за манометром контролюють зростання тиску. Після того як тиск в системі, досягнувши деякого максимуму, починає знижуватися, вимикають електропіч, відкривають кран 4 лійки 6 і повільно виймають оправку 2 з капіляром з корпусу 1, після чого кран закривають.

У момент закінчення дослідів з капіляра видавлюється мастило.

**В'язкість мастила** – змінна величина, яка залежить від температури та швидкості деформації. В'язкість мастила тим менше, чим вище температура та швидкість деформації. Після руйнування структурного каркаса мастило починає текти подібно до рідини. Чим більша швидкість деформації при постійній температурі, тим швидше зменшується в'язкість і збільшується плинність мастила. Оскільки в'язкість мастила залежить від швидкості руйнування її структурного каркасу, введено поняття «ефективна в'язкість». Під ним мається на увазі в'язкість ньютонівської рідини, яка при даному режимі течії чинить такий же опір зсуву, як і мастило.

В'язкість мастила залежить також від виду та концентрації загусника, а від в'язкості залежить прокачування мастил, витрати енергії на відносне переміщення змащених деталей, особливо в пусковий період. З двох мастил якіснішим вважається те, у якого при однакових значеннях межі міцності в'язкість менша.

**Динамічна в'язкість** пластичного мастила при мінімальній робочій температурі та швидкості деформації  $10^{-1}$  с не повинна перевищувати 1500...2000 Па·с.

**Механічна стабільність** – це здатність мастила протистояти руйнуванню. У процесі роботи мастила постійно піддаються механічному впливу, внаслідок чого руйнується їх структурний каркас. При відпочинку структурний каркас мастила мимоволі відновлюється. Ця властивість мастила називається **тиксотропною**. Вона суттєво залежить від типу та концентрації загусника, хімічного складу оливи, температури мастила, інтенсивності механічного впливу. При тиксотропних перетвореннях мастил їх показники якості (насамперед міцності) не повинні змінюватися. У неробочому стані вузла тертя в'язкість та межа міцності не змінюються або зростають.

**Термічна стабільність та термозміцнення.** Під термічною стабільністю розуміють здатність мастил зберігати свої експлуатаційні властивості без зміни за підвищених температур. Властивості більшості мастил при нагріванні їх на 50...100°C нижче за температури плавлення і при подальшому охолодженні практично не змінюються. Однак у деяких мастил після нагрівання та подальшого охолодження підвищуються щільність, межа міцності та в'язкість, аж до втрати пластичності. Термозміцнення негативно позначається на експлуатаційних властивостях мастил, оскільки термозміцнені мастила перестають надходити до робочих поверхонь у зв'язку з великими значеннями межі міцності і в'язкості.

Термозміцнення пластичного мастила оцінюють, вимірюючи межу міцності перед витримкою її при підвищеній температурі та після неї. При зберіганні та застосуванні мастил з них може випаруватися рідка олива. Випарюваність дисперсного середовища (оливи) визначає термін служби мастила. Допустима швидкість випаровування оливи з одиниці поверхні мастила становить близько  $10^{-7}$  г/(см<sup>2</sup>·с).

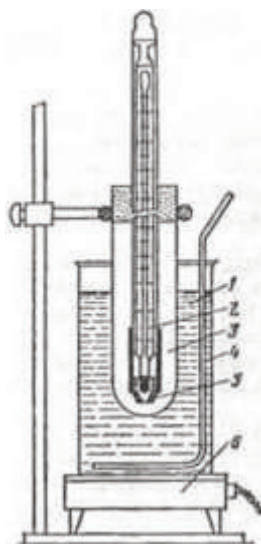
**Температура краплепадіння** – це температура, за якої мастило з пластичного (напівтвердого) стану перетворюється на рідке. Плавлення пластичних мастил супроводжується значною зміною їх властивостей. При визначенні температури краплепадіння пластичне мастило, нагріте в спеціальному приладі, розм'якшується до такого стану, при якому відбувається утворення рідкої краплі і її падіння.

За температурою краплепадіння мастила (табл. 7.2) можна приблизно оцінити його працездатність при підвищеній температурі. Для надійного змащування вузлів тертя необхідно, щоб їхня робоча температура була на 10...20°C нижче, ніж температура краплепадіння пластичного мастила.

Таблиця 7.2 – Температура краплепадіння пластичних мастил

Мастило	Температура краплепадіння, °С
Солідол С	85...105
Прес-солідол С	85...95
Графітне	77...85
Літол-24	≥ 185
Фіол-1	≥ 185
ЦИАТИМ-221	≥ 200
ЦИАТИМ-201	≥ 175
Мастило № 158	≥ 132

Прилад для визначення температури краплепадіння пластичних мастил показаний на рисунку 7.2. При цьому використовують стандартний термометр типу Уббелюде. У нижній частині термометра 2 змонтована металева гільза, яку нагвинчується металева трубка з отвором. В отвір вставляють капсуль (чашечка) 5 стандартних розмірів. Термометр фіксують у пробірці 3 за допомогою пробки. Пробірку розміщують на штативі і вставляють в склянку-лазню 1, яку заливають водою або гліцерином.



1 - стакан з водою або гліцерином; 2 - спеціальний термометр з гільзою;  
3 - пробірка; 4 - мішалка; 5 - капсуль для досліджуваного мастила; 6 - електроплитка.

Рисунок 7.2 – Прилад для визначення температури краплепадіння

Випробовуване пластичне мастило щільно накладають шпателем в капсуль, стежачи за тим, щоб на поверхні не було бульбашок повітря. Потім капсуль вставляють в гільзу термометра так, щоб верхній край її упирався в буртик гільзи. При цьому нижнім кінцем термометра видавлюється через отвір надлишок мастила. На дно сухої чистої пробірки кладуть кружок білого паперу і поміщають термометр в пробірку таким чином, щоб нижній край капсуля знаходився на відстані 25 мм від кружка. Потім пробірку з термометром поміщають у лазню. Гліцерин використовують для мастил із температурою краплепадіння вище 80°C. Воду або гліцерин підігрівують таким чином, щоб після досягнення температури на 20°C нижче очікуваної

температури краплепадіння швидкість нагрівання становила 1°C за хвилину.

За температуру краплепадіння випробуваного пластичного мастила приймають температуру, при якій падає перша крапля або дна пробірки стосується стовпчик мастила, що виступав з отвору капсуля.

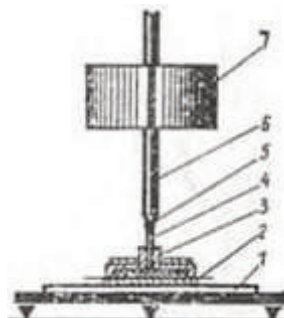
**Колоїдна стабільність** характеризує можливість виділення дисперсійного середовища (оливи) з мастила при зберіганні та експлуатації. Кількість оливи, що виділяється, збільшується при підвищенні температури і тиску. На виділення оливи з мастила впливає додаток до неї одностороннього навантаження, наприклад, відцентрових сил і тисків. З підвищенням температури колоїдна стабільність погіршується внаслідок зменшення в'язкості дисперсійного середовища.

Пластичні мастила повинні виділяти невелику кількість оливи при випробуванні у певних стандартних умовах. Надмірно стабільні мастила погано змащують вузли тертя. Особливо важливо виділення деякої кількості оливи з мастила для запобігання інтенсивному зношуванню деталей у момент зрушення з місця автомобіля.

Поява шару оливи, що лежить на поверхні мастила при зберіганні (явище синерезису) свідчить про «старінні» мастила, тобто погіршення його експлуатаційних властивостей. Такі мастила треба використовувати в першу чергу. Колоїдна стабільність зростає зі збільшенням кількості загусника в мастилі і зменшується зі зниженням в'язкості мінеральної оливи. Мастила з низькою колоїдною стабільністю (наприклад, мастило ЦИАТИМ-201) розфасовують у дрібну тару.

Колоїдну стабільність визначають у приладі КСА (рис. 7.3) при заданих навантаженнях, часі та температурі. Прилад КСА складається з штатива і плити 1. На стійці штатива укріплений кронштейн, в якому розміщений шток 6 для кріплення вантажу 7. Металева кулька 5 служить для передачі тиску на поршневий хвостовик. На плиту 1 встановлюють чашечку 3 для випробуваного мастила, в яку вставлений поршень 4. Маса штока, кульки, поршня і вантажу становить 1 кг.

Чашечку з поршнем зважують на аналітичних вагах, потім у неї вмазують шпателем випробуване мастило, зважують і обчислюють масу мастила, взятого на випробування. Один кружок фільтрувального паперу змочують оливою і зважують. Скло зі стопкою фільтрувального паперу (7...9 кружків) поміщають на столику штатива. На мастило в чашці кладуть просочений оливою кружок фільтрувального паперу так, щоб між папером і мастилом не було порожнеч, і ставлять чашку на стійку фільтрувального паперу, покладену на скло.



1 - плита; 2 - фільтрувальна бумага; 3 - чашечка;  
4 - поршень; 5 - кулька; 6 - шток; 7 - вантаж.

Рисунок 7.3 – Прилад КСА для визначення колоїдної стабільності

Натискаючи пускову кнопку, звільняють шток і опускають його до зіткнення з кулькою. Потім на шток надягають вантаж, знову натискають кнопку пуску і відзначають час початку випробування. Після закінчення 30 хв зважують чашку з мастилом і кружечком фільтрувального паперу.

Кількість оливи (%), що виділилася після відпресування пластичного мастила, характеризуватиме його колоїдну стабільність. Чим більша кількість оливи відпресується з пластичного мастила, тим нижче її колоїдна стабільність (табл. 7.3).

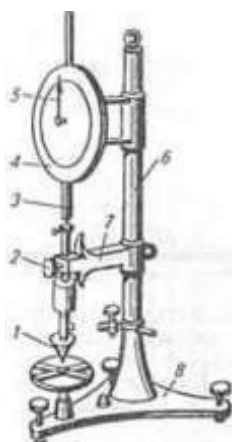
Таблиця 7.3 – Пенетрація та колоїдна стабільність пластичних мастил

Мастило	Число penetрації при 25°C	Колоїдна стабільність, %
Солідол С	260...310	5
Прес-солідол С	310...340	10
Графітне	250...280	5
Літол-24	220...250	12
ЦИАТИМ-221	280...320	7
ЦИАТИМ-201	265...310	26
Мастило № 158	310...340	23

**Пенетрація** (проникнення) характеризує консистенцію чи ступінь м'якості пластичних мастил. Пенетрацію визначають на лабораторному пенетрометрі ЛП по глибині занурення в випробуване мастило стандартного за формою і масою тіла (конуса або голки) протягом 5с при заданому навантаженні та температурі. Число penetрації виражають у цілих числах, рівних глибині занурення конуса або голки в мастило в міліметрах, помножених на 10.

Зміна penetрації пластичних мастил при зберіганні в умовах експлуатації вказує на зміну її структури. Таке змащення необхідно швидше використовувати.

Числа penetрації при 25°C для деяких пластичних мастил, що застосовуються в автомобільному транспорті, наведені в таблиці 7.3.



1 - конус; 2 - пускова кнопка; 3 - кремальєра; 4 - індикатор;  
5 - стрілка; 6 - штатив; 7 - кронштейн; 8 - плита.

Рисунок 7.4 – Пенетрометр

Лабораторний пенетрометр ЛП (рис. 7.4) складається зі штатива 6 і плити 8, де встановлено столик, положення якого по висоті можна регулювати. У плиту вмонтовано круглий рівнемір. На штативі укріплений кронштейн 7 з плунжером, індикатор 4 та дзеркало (на рисунку не показано). Плунжер вільно переміщується по направляючій втулці кронштейна і фіксується за допомогою затискача. Пускова кнопка 2 служить для звільнення плунжера. До плунжера прикріплені конус 1 або голка з вантажем. Індикатор складається з кремальєри 3, яка входить у зачеплення із шестернею. Вісь шестерні з'єднана зі стрілкою 5.

Склянку з випробуваним мастилом поміщають на столик. За допомогою затискача переміщують кронштейн по стійці так, щоб наконечник конуса 1 торкнувся поверхні мастила. Кремальєру 3, зі сферичним наконечником, перед вимірюванням підводять до встановленого і зафіксованого затискачем плунжеру, після чого стрілку 5 індикатора встановлюють на нуль за шкалою (360 поділів ціною 0,1 мм). Потім одночасно включають секундомір і натискають кнопку пуску 2. Конус вільно занурюється в мастило протягом 5с, після чого відпускають кнопку, припиняючи занурення. За індикатором визначають глибину занурення конуса в десятих частках міліметра.

**Хімічна стабільність** – це стійкість мастил проти окислення при зберіганні та експлуатації. Окислення мастил знижує їх антикорозійні та міцнісні властивості, погіршує колоїдну стабільність, мастильну та захисну здатність. При підвищенні температури окислення мастил прискорюється.

На хімічну стабільність мастил впливають вид загусника та якість дисперсійного середовища. Хімічна стабільність більшості неорганічних та органічних мастил вища, ніж мильних. У мильних мастил окисленню піддаються олива і загусник. Мила деяких металів (наприклад свинцеві) є сильними каталізаторами окислення.

Хімічна стабільність дуже важлива для довгопрацюючих та «вічних» мастил, що заправляються у вузли тертя один-два рази протягом 10...15 років або один раз за весь період експлуатації, а також мастил, що працюють за температур вище 100°C. Поява твердої корки на поверхні мастила при зберіганні свідчить про його глибоке окислення. Таке мастило непридатне до експлуатації.

Сучасні мастила готують з високоякісних олив та хімічно стійких загусників з додаванням антиокислювальних присадок та дезактиваторів металів.

**Вологостійкість** насамперед важлива для мастил, що працюють у негерметизованих вузлах тертя або контактують із водою. Мастила не повинні змиватися водою або змінювати свої властивості при попаданні в них вологи. При оцінці вологостійкості беруть до уваги гігроскопічність мастил. Властивості обводнених мастил погіршуються.

Вологостійкість мастил залежить головним чином від виду загусника. *Основна* маса мастил вологостійка. Низьку вологостійкість мають натрієві мастила, підвищену – консерваційні (захисні), високу – літєві.

**Протизадирні властивості** пластичних мастил обумовлені їх здатністю запобігати задирам і заїданням поверхонь, що труться, при високих навантаженнях. При зростанні швидкості ковзання збільшується зношування деталей і зменшується ефективність протизадирної дії мастил. Для підвищення протизадирних властивостей мастила додають присадки. При високих контактних напругах (до 500 кН) застосовують присадки з антифрикційними добавками типу дисульфиду молібдену або графіту.

**Консерваційні властивості** пластичних мастил забезпечують їхню здатність захищати металеві поверхні від впливу вологи та кисню. Шкідливий вплив атмосфери значно зростає у промислових зонах країни через присутність у повітрі сірчистого газу та інших активних сполук. Пластичні мастила значно перевершують за консерваційними властивостями мінеральні оливи. Шар мастила товщиною в соті частки міліметра протягом багатьох місяців запобігає корозії металів в умовах 100% вологості.

**Здатність запобігати фреттингу** пов'язана з легкістю проникнення пластичного мастила до поверхонь тертя. **Фреттинг або фреттинг-корозія** – це особливий вид зношування, пов'язаний циклічними, невеликими за величиною зсувами поверхонь, що труться. При коливальному русі підшипників у місцях контакту кульки з доріжкою кочення утворюється оксид заліза, що призводить до появи виразок цих поверхнях. Фреттинг посилюється зі зростанням навантаження, частоти та амплітуди коливань. Однак при підвищенні амплітуди коливань покращується надходження мастильного матеріалу в зону тертя і зношування знижується. Мастило легко проникає в зону тертя по шорстких поверхнях, що перетинаються, і мікроканавкам.

### 7.3 КЛАСИФІКАЦІЯ І МАРКУВАННЯ ПЛАСТИЧНИХ МАСТИЛ

#### Групи мастил

Пластичні мастила за призначенням ділять на чотири групи: антифрикційні, консерваційні, канатні, ущільнювальні (ДСТУ 4226:2003 (ISO 6743-9:1987, MOD)).

**Антифрикційні мастила** призначені для зниження зносу та тертя ковзання сполучених деталей. Мастила цієї групи ділять на кілька підгруп: звичайного призначення для звичайних температур (робочі температури до 70°C); загального призначення для підвищених температур (до 110°C); багатоцільові (при робочих температурах від -30 до +130°C та для умов підвищеної вологості); термостійкі (робочі температури 150°C та вище); морозостійкі (робочі температури -40°C та нижче); протизадирні та протизносні (для підшипників кочення при контактних напругах вище 2450 МПа та підшипників ковзання при питомих навантаженнях вище 147 МПа); хімічно стійкі (для вузлів тертя, які працюють у агресивних середовищах); приладові; редукторні (трансмісійні); приробіткові (дисульфідмолібденові, графітні та інші пасти); вузькоспеціалізовані (задовольняють додаткові вимоги для вузлів тертя); брикетні.

**Консерваційні мастила** призначені для запобігання корозії металевих виробів та механізмів при зберіганні, транспортуванні та експлуатації.

**Канатні мастила** використовують для запобігання зносу та корозії сталевих канатів, тросів, органічних сердечників сталевих канатів.

**Ущільнювальні мастила** призначені для герметизації зазорів, полегшення складання та розбирання арматури, для сальникових пристроїв, різьбових, роз'ємних та будь-яких рухомих з'єднань, у тому числі вакуумних систем. Ущільнювальні мастила ділять на арматурні, різьбові та вакуумні.

#### Маркування мастил

Умовне позначення кожного мастила складається з його найменування (солідол, літол, графітне і т.д.) та індексів, що в короткій формі повідомляють про призначення мастила, його характеристики та склад. Індексне позначення складається з п'яти літерних та цифрових індексів, розташованих у наступному порядку: показник групи

або підгрупи відповідно до призначення мастила; загусник; температурний інтервал застосування; дисперсійне середовище; консистенція мастила. Деякі індекси можуть бути пропущені. У марку мастила можуть бути введені індекси «г, д, с» та інші, що позначають тверді добавки відповідно графіту, дисульфиду молібдену, свинцю та ін.

Тип загусника (індекс) позначають буквами алфавіту (табл.7.4).

Таблиця 7.4 – Індекс типу загусника

Загусник	Індекс	Загусник	Індекс
Мило:	М	Органічні речовини:	О
алюмінієве	Ал	пігменти	Пг
барієве	Ба	полімери	Пм
кальцієве	Ка	уреати	Ур
літієве	Лі	фторвуглеводи	Фу
натрієве	На	Неорганічні речовини:	Н
свинцеве	Сн	глини (бентонітові)	Бн
цинкове	Цн	сажа	Сж
комплексне	к	силікагель	Си
суміш мил	М1 - М2	Вуглеводні тверді	Т

**Комплексне мило** позначають малою літерою "к", після якої вказують індекс відповідного мила, наприклад кКа, кБа. Суміш двох і більше загусників позначають складовими індексами: Ка-Іа, Лі-Ба і т.д., причому на першому місці ставлять індекс загусника, що входить до складу мастила у більшій кількості. Індокси М, О, Н, що означають загусник (відповідно мило, органічні речовини та неорганічні речовини), ставлять у тих випадках, коли загусник не передбачений переліком.

Температурний інтервал застосування позначають дробом, цифри якого відповідають температурі, зменшеною в 10 разів. Наприклад, 3/13 означає, що це мастило може працювати в інтервалі температур від  $-30$  до  $+130^{\circ}\text{C}$ . Мінімальною вважають температуру, за якої в'язкість мастила не перевищує  $2000 \text{ Па}\cdot\text{с}$ . Тип дисперсійного середовища позначають наступними індексами: нафтова олія – н, синтетичні вуглеводні – у, складні ефіри – е, фторсилоксани – ф, кремнійорганічні рідини – к, галогенвуглецеві рідини – ж, перфторалкилполіефіри – а, інші оливи та рідини – п.

Наявність у мастилі твердих добавок позначають літерами: графіт – г, дисульфід молібдену – д, порошки свинцю – с, порошки міді – м, порошки цинку – ц. Інші тверді добавки – т.

Суміш двох і більше олив позначають індексом (ПК, уе та ін), причому на першому місці ставлять індекс оливи, що входить до складу дисперсного середовища у більшій кількості. Індекс «п» застосовують, коли синтетична або інша олива, що входить до складу дисперсного середовища, відсутня в переліку. При виготовленні мастила на нафтовій оливі індекс "н" не вказують. Його вводять у марку при позначенні мастила із суміші нафтової та будь-якої іншої оливи.

Клас консистенції пластичного мастила позначають арабською цифрою. За кількістю penetрації мастил присвоєно 9 класів консистенції (табл. 7.5).

Таблиця 7.5 – Пенетрації мастил в за залежності від класу консистенції

Число пенетрації при 25°C	Клас консистенції
400...430	00
335...385	0
310...340	1
265...295	2
220...250	3
175...205	4
130...160	5
85...115	6
Нижче 70	7

Приклади позначення трьох мастил та їх розшифрування:

Мастило МЛі4/13-3,

де М – багатоцільове мастило; Лі – загусник – літієве мило; 4/13 – температурний діапазон застосування від  $-40$  до  $+130^{\circ}\text{C}$ ; 3 клас консистенції (пенетрація при  $25^{\circ}\text{C}$  становить 220...250);

Мастило СКa2/7-2,

де С – антифрикційне мастило загального призначення, що застосовується при температурі до  $70^{\circ}\text{C}$  (солідол); Ка – загусник – кальцієве мило; 2/7 – рекомендований температурний діапазон застосування від  $-20$  до  $+70^{\circ}\text{C}$  (в'язкість мастила при  $-20^{\circ}\text{C}$  близька до  $2000 \text{ Па}\cdot\text{C}$ ); індекс дисперсійного середовища відсутній, отже мастило виготовлене на нафтовій оліві; 2 – клас консистенції мастила (пенетрація при  $25^{\circ}\text{C}$  становить 265...295);

Мастило КТ6/5к-г4,

де А – канатне мастило; Т – загусник – тверді вуглеводні; 6/5 – температурний інтервал експлуатації від  $-60$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ ; ко – мастило виготовлене на основі кремнійорганічної рідини; г – як добавка використаний графіт; 4 – клас консистенції мастила (пенетрація при  $25^{\circ}\text{C}$  становить 175...205).

#### 7.4 АСОРТИМЕНТ ПЛАСТИЧНИХ МАСТИЛ

Головний компонент мастил – загусник, що визначає їх основні експлуатаційні властивості. У нашій країні виробляють такі типи мастил (по загуснику): мильні (літієві, комплексні літієві, натрієві та натрієво-кальцієві, безводні кальцієві, комплексні кальцієві, алюмінієві та ін), немильні (неорганічні та органічні), вуглеводневі.

Структура випуску пластичних мастил по загуснику визначає рівень їх якості загалом.

##### Мастила загального призначення для звичайних температур

**Солідол синтетичний** готують загущенням індустріальної оливи кальцієвими милами синтетичних жирних кислот, одержаних окисленням парафіну. До складу солідолів, крім обов'язкових двох компонентів – дисперсійного середовища (оливи) та дисперсної фази (загусника), входить третій компонент – стабілізатор структури, яким слугує вода. Тому максимальна температура застосування солідолів  $65^{\circ}\text{C}$ . За більш високої температури вони незворотно руйнуються.

Синтетичні солідоли випускають двох марок: солідол С і прес-солідол С. Солідол С заправляють у вузли тертя машин, що працюють за температури до  $10^{\circ}\text{C}$ , а прес-солідол С – за нормальної температури до  $-30^{\circ}\text{C}$ . Переваги солідолів – висока вологостійкість та гарні захисні властивості. Солідоли застосовують у складальних одиницях автомобілів, сільськогосподарських машин, та у верстатному устаткуванні. До недоліків солідолів відносяться низькі робочі температури та погана механічна стабільність.

**Солідол жировий** одержують загущенням кальцієвими милами жирних кислот, що входять до складу природних жирів. Цей солідол випускають двох марок: солідол Ж і прес-солідол Ж. Декілька кращих в'язкісно-температурних характеристик жирових солідолів зумовлюють ширше їх застосування порівняно з синтетичними. Однак у більшості випадків жирові та синтетичні солідоли взаємозамінні. При змішуванні будь-якому співвідношенні жирових і синтетичних солідолів їх експлуатаційні характеристики не погіршуються. Заміник – Літол-24.

**Графітне мастило** є мазь чорного кольору. Це кальцієве гідратоване мастило з додаванням 10% м'якого лускатого графіту. Незважаючи на погані низькотемпературні властивості, мастило використовують всесезонно у важконавантажених тихохідних механізмах, де збільшення опору, що викликається мастилом, немає практичного значення (у ресорах автомобілів, відкритих шестернях, торсійних підвісках гусеничних машин та ін.). Для точних з'єднань та підшипників кочення вона непридатна. Мастило працездатне при температурі  $-20\dots+70^{\circ}\text{C}$ . Замінники – солідол С, солідол Ж або Літол-24 з додаванням 10% графіту.

#### **Мастила загального призначення для підвищених температур**

**Консталин** (універсальне тугоплавке мастило УТ) випускають двох марок: Консталин-1 і Консталин-2, які відрізняються температурою краплепадіння і числом penetрації. Жирові консталини одержують загущенням очищеного або вилуженого мінерального числа натрієвими милами. Їх застосовують для підшипників кочення, що працюють при температурі до  $110^{\circ}\text{C}$  (у ступицях коліс, карданних валах, осях та шарнірах педалей керування, електродвигунах). Замінники – Літол-24, Літол-459/5.

**1-13** – суміш нафтових олив низької та середньої в'язкості, загущених натрієвим милом жирних кислот касторової оливи. Містить невелику кількість кальцієвого мила. Мастило працездатне при температурі  $-20\dots+110^{\circ}\text{C}$ . Його застосовують для змащування підшипників кочення електродвигунів, ступиць коліс застарілих автомобілів. Заміник – Літол-24.

**Літин-2** – мінеральна олива, загущена літієвим милом 12-оксистеаринової кислоти та аеросилом. Мастило містить антиокислювальну, протизадирну, протизносну, адгезійну та протикорозійну присадки, має високі трибологічні та адгезійні властивості. Працездатна за температури  $-40\dots+120^{\circ}\text{C}$ . Призначена для змащування голчастих підшипників карданних шарнірів та інших вузлів тертя автомобілів. Заміник – Літол-24.

#### **Багатоцільові мастила**

**Літол-24** – мастило коричневого або вишневого кольору, що є мінеральною оливою, загущеною літієвим милом стеаринової кислоти. До складу мастила входять в'язкісні та антиокислювальні присадки. Літол-24 має високу вологостійкість і не схильне до тиксотропного термозміцнення. Має високу колоїдну, хімічну та ме-

ханічну стабільність. Водостійка, не розчиняється у киплячій воді. Працездатна при температурі  $-40...+120^{\circ}\text{C}$ .

Мастило використовують у вузлах тертя автомобілів, електричних, дорожньо-будівельних, сільськогосподарських та інших машин, успішно застосовують у голчастих підшипниках карданних шарнірів.

У з'єднаннях, не захищених від бруду та води, недоцільно застосовувати мастило Літол-24, як і інші високоякісні мастила. Літол-24 замінює багато мастил: солідоли, карданну АМ та ін. Якщо Літол-24 використовують у закритих складальних одиницях (ступицях коліс, підшипниках водяних насосів та ін.) замість мастил загального призначення, то терміни проведення мастильних робіт збільшують більш ніж у 2 рази. Замінник – Літол-24РК.

**Літол-24РК** – суміш мінеральних олив, загущених літієвим милом гідроксистеаринової кислоти. До складу мастила входять антикорозійна, в'язкісна, антиокислювальна та захисна присадки. Мастило водостійке, забезпечує консервацію вузлів тертя протягом 10 років, працездатне при температурі  $-40...+120^{\circ}\text{C}$ . Служить для змащування підшипників кочення та ковзання всіх типів колісних та гусеничних транспортних засобів, електричних машин. Замінник – Літол-24.

**ЛКМтраіс-2** – суміш мінеральних олив, загущених комплексним літієвим милом. Водостійка, містить багатофункціональні присадки. Має високу термічну і механічну стабільність, а також хороші антикорозійні та змащувальні властивості. Працездатна за температури  $-40...+150^{\circ}\text{C}$ , короткочасно до  $170^{\circ}\text{C}$ . Застосовують для змащування вузлів тертя транспортних засобів та промислового обладнання. Замінник – Літол-24.

**Таврол-2** – суміш мінеральних олив, загущених літієвим милом жирних кислот. Містить в'язкісні та антикорозійні присадки. Має високу термічну і механічну стабільність. Працездатна при температурі  $-40...+150^{\circ}\text{C}$ , короткочасно до  $170^{\circ}\text{C}$ . Служить для змащування вузлів тертя транспортних засобів та промислового обладнання. Замінник – Літол-24.

#### Автомобільні мастила

**Фіол-2У** – нафтова олива, загущена гідрооксистеаратом літія. Містить антиокислювальну присадку та антифрикційну добавку. Має високі антиокислювальні, механічні та колоїдні стабільності, хороші протизносні та протизадирні властивості. Водостійка, працездатна за температури  $-40...+120^{\circ}\text{C}$ . Застосовують для змащування голкових підшипників карданного валу автомобілів. Замінники – ШРУС-4, мастило №158.

**Літол-459/5** – мінеральна олива, загущена літієвими милами стеаринової та 12-гідрооксистеаринової кислот. Містить антиокислювальну присадку. Водостійка, працездатна при температурі  $-40...+120^{\circ}\text{C}$ , короткочасно до  $130^{\circ}\text{C}$ . Служить для змащування переривника-розподільника системи запалювання автомобілів.

**ЛСЦ-15** – суміш мінеральних олив, загущених літієвим милом кислот гідрованої касторової оливи. Містить антиокислювальну та в'язкісні присадки та оксид цинку. Має досить хорошу термічну, колоїдну та антиокислювальну стабільність, а також консерваційні та адгезійні властивості. Водостійка, працездатна за температури  $-40...+130^{\circ}\text{C}$ . Застосовують для змащування шарнірів та осей приводу акселератора, важелів включення, шліцевих з'єднань, механізмів склопідйомників автомобілів. Замінник – Літол-24.

**ШРУС-4** – мінеральна олива, загущена гідроксистеаратом літію. Містить антиокислювальну та протизадирну присадки, а також антифрикційні добавки. Водостійка. Має високу механічну та антиокислювальну стабільність, а також протизносні та протизадирні властивості. Працездатна за температури  $-40...+120^{\circ}\text{C}$ . Призначена для змащування шарнірів рівних кутових швидкостей повнопривідних автомобілів та інших вузлів тертя. Замінник – мастило № 158.

Мастило №158 – мінеральна олива, загущена літієво-кальцієвим милом кислот касторової оливи та каніфоллю. Містить антиокислювальну присадку. Має хорошу антиокислювальну і механічну стабільність, високі протизносні властивості. Водостійкість задовільна. Працездатна при температурі  $-30...+110^{\circ}\text{C}$ . Призначена для змащування підшипників кочення автотракторного обладнання, підшипників голкових карданних шарнірів непостійної кутової швидкості. Змащення закладають у закриті підшипники (наприклад, у вижимний підшипник зчеплення вантажних автомобілів) і не поповнюють протягом усього терміну їхньої служби. Замінник – ШРУС-4.

**Карданне мастило АМ**, що отримується загущенням мінеральної та касторової оливи та каніфолі кальцієвим милом, призначене для змащування карданних шарнірів передніх провідних мостів автомобілів. Оскільки це мастило вимивається з вузлів тертя, температурний діапазон застосування від  $-20$  до  $+100^{\circ}\text{C}$ . Замінники – Літол-24, ШРУС-4.

#### Приборні та захисні мастила

**ЦИАТИМ-201** – приладове мастило, а саме ванілінове приладове масло (МВП), загущене літієвим милом стеаринової кислоти і містить антиокислювальну присадку. Мастило працездатне від  $-60$  до  $+90^{\circ}\text{C}$ . Її застосовують у підшипниках кочення та ковзання, шарнірах направляючих, вузлах тертя автомобілів та тракторів, що працюють з малим зусиллям зсуву при невисоких навантаженнях.

**ПВК** – вуглеводневе захисне мастило від жовтого до коричневого кольору, одержуване сплавленням петролатуму з в'язкою залишковою оливою при додатковому введенні 5% церезину та присадки. Мастило використовують для чорних та кольорових металів будь-якої форми та розмірів. Вона має високу водостійкість і стабільність, нерозчинна у воді. Металеві деталі занурюють у розплавлене мастило або ПВК наносять на деталь пензлем, щіткою при температурах не нижче  $10^{\circ}\text{C}$ . Працездатна за температури від  $-50$  до  $+45^{\circ}\text{C}$ . Термін зберігання деталей, законсервованих цим мастилом, 10 років.

### **7.5 ОХОЛОДЖУВАЛЬНІ РІДИНИ**

Під час роботи двигуна деякі деталі, стикаючись з гарячими газами, сильно нагріваються. Висока температура поршнів, циліндрів, головки та клапанів призводить до посиленого нагаро- та лакоутворення, підвищеного тертя, задирів і зношування деталей. Для нормальної роботи двигуна температура деталей повинна підтримуватися на певному рівні. Це забезпечує система охолодження, яка в залежності від швидкохідності та потужності двигуна відводить 15...35% теплоти, що утворюється при згорянні палива. У бензинових і газових двигунах частка теплоти, що відводиться, завжди більша, ніж у дизельних. Температуру в системі охолодження необхідно підтримувати на певному рівні відповідно до вказівок заводу-виробника для даної марки двигуна.

Хороша робота системи охолодження залежить від правильного вибору та якості охолоджувальної рідини.

**Охолоджувальні рідини повинні відповідати наступним вимогам:**

– ефективно відводити тепло (тобто мати велику теплоємність та невелику в'язкість);

– мати високу температуру кипіння та теплоту випаровування;

– мати низьку температуру кристалізації;

– не утворювати відкладень у системі охолодження;

– не викликати корозії металевих деталей;

– не руйнувати гумові деталі системи охолодження;

– не спінюватися у процесі роботи;

– бути дешевими, пожежобезпечними та нешкідливими для здоров'я.

**Використання води в якості охолоджувальної рідини**

Найбільш поширеною рідиною, що застосовується для охолодження, є вода. Вона має найвищу теплоємність 4,19 кДж/(кг·°C), більшу теплопровідність, невелику кінематичну в'язкість ( $\nu_{20^\circ\text{C}} = 1 \text{ мм}^2/\text{с}$ ) та більшу теплоту випаровування.

**Вода**, що широко використовується як охолоджувальна рідина, поряд з такими перевагами, як висока теплоємність, доступність придбання, пожежна безпека і нешкідливість для людини, має ряд істотних недоліків. Головним недоліком є висока температура замерзання (0 °C). При цьому **вода збільшується в обсязі приблизно на 10%**, внаслідок чого може статися розрив головок циліндрів, блоків і радіаторів, оскільки лід при розширенні тисне на стінки системи з тиском близько 245 МПа. Загроза замерзання води в системі охолодження створює великі труднощі під час експлуатації двигунів у зимовий час. До недоліків води слід також віднести **порівняно низьку температуру кипіння**.

Температура охолоджувальної води в автотракторних двигунах підтримується на рівні 80...90°C.

**Вода має корозійні властивості.** У ній знаходяться розчинені гази та деякі солі, які кородують метали. Високу корозійність мають кисень, діоксид вуглецю і сірководень. Вода в системі охолодження утворює шлами та накип.

При використанні води в якості охолоджувальної рідини, **утворення відкладень** у системі охолодження двигуна визначається в основному наявністю розчинених у воді солей, що утворюють накип, теплопровідність якої приблизно в 100 разів менше теплопровідності сталі. Відкладення накипу в системі охолодження (рис. 7.5) викликає порушення теплового режиму роботи двигуна, збільшення витрати палива та оливи.

**Накип** являє собою щільні міцні відкладення, що утворюються на гарячих стінках сорочки системи охолодження за рахунок випадання з води різних солей. **Шлам** називають мулисті відкладення мінерального чи органічного походження, які поступово коагулюються та осідають у застійних зонах системи охолодження. Шлам і накип зменшують переріз каналів і мають дуже низьку теплопровідність, що різко знижує відведення теплоти від деталей, що охолоджуються. При великих відкладеннях накипу та шламу в сорочці двигуна відведення теплоти від стінок циліндрів може знизитися на 40%. Це призводить до перегріву двигуна, в'язкість оливи знижується, погіршуються умови змащування деталей, підвищується знос, зростає схильність бензину до детонації. У бензинових двигунів підвищується витрата палива.

Атмосферна вода (снігова, дощова) найчистіша. У ній немає розчинених солей та органічних речовин, але завжди присутні розчинені гази. У річковій воді значно більше розчинених солей, ніж у болотній та ставковій. В останніх переважають органічні речовини.

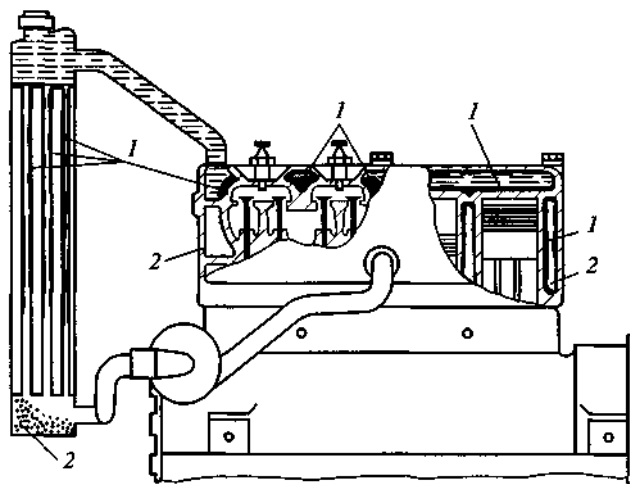


Рисунок 7.5 – Типові місця відкладення накипу (1) та шламу (2) у системі охолодження автомобільних двигунів

Схильність до утворення накипу у системі охолодження характеризується **жорсткістю води**, обумовленої вмістом у ній іонів кальцію та магнію. **Одиниця жорсткості води** – моль на кубічний метр (моль/м<sup>3</sup>). Розрізняють усувну і неусувну жорсткість води.

**Усувна жорсткість** води обумовлена присутністю у воді карбонатних і гідрокарбонатних іонів солей кальцію і магнію, що видаляються при кип'ятінні. Ці солі можуть бути в розчиненому стані у воді лише в присутності вуглекислоти. У процесі кипіння води вуглекислота розкладається, а солі розпадаються та випадають в осад. Чим вище температура стінок блоку циліндрів, тим швидше йдуть розпад солей та утворення накипу. Вода пом'якшується, а жорсткість її усувається.

**Неусувна жорсткість** обумовлена присутністю у воді солей, які не розкладаються при кип'ятінні, проте вони випадають в осад і беруть участь в утворенні накипу при випаровуванні частини води із системи охолодження, коли їх концентрація перевищить межу насичення. Воду вважають м'якою, якщо загальний вміст у ній солей вкладається у 3 моль/м<sup>3</sup>, середньо жорсткою – 3...6 моль/м<sup>3</sup> і жорсткою – понад 6 моль/м<sup>3</sup>. **Жорстка вода непридатна для систем охолодження двигунів.**

Зазвичай жорсткість води визначають у лабораторних умовах, але її можна оцінити і у простий спосіб. Так, у м'якій воді утворюється стійка мильна піна, у воді середньої жорсткості піна утворюється при тривалому намилюванні, а в твердій воді вона не утворюється зовсім. Як правило, у північних районах нашої країни води м'які. Чим південніше район, тим вища жорсткість. У південних районах жорсткість води іноді становить 80...100 моль/м<sup>3</sup>.

У двигунах внутрішнього згорання необхідно використовувати тільки м'яку воду, що майже не утворює накипу. Перед заправкою в систему охолодження воду потрібно профільтрувати для видалення механічних домішок.

Воду середньої і жорсткої жорсткості слід пом'якшувати різними способами. Найпростішим із них є кип'ятіння. Прокип'ячену воду треба профільтрувати через щільну тканину для видалення осаду. При хімічних способах пом'якшення води всі солі перетворюються на осад, який потім видаляють відстоюванням та фільтрацією. Для пом'якшення води використовують розчини соди та вапна, тринатрійфосфат, гексаметафосфат та інші реагенти. Широко поширений катіоновий спосіб. Катіонами називають речовини, які можуть обмінювати свої катіони на катіони розчинених у воді солей, внаслідок чого накип не утворюється. Запобігати утворенню накипу в системі охолодження двигуна можна безпосередньо введенням у систему спеціальних присадок, для чого використовують хромпик і фосфати натрію, які переводять накипоутворюючі солі на рихлі опади.

### Низькозамерзаючі охолоджувальні рідини

**Низькозамерзаючі охолоджувальні рідини** – антифризи (від англ. «antifreeze» – незамерзаючий) замінили воду в системах охолодження двигунів сучасних автомобілів. Найбільш широкого поширення набули низькозамерзаючі рідини на гліколевій основі, що є сумішшю **етиленгліколю** з водою. Іноді зустрічаються рідини на основі **пропіленгліколю** – їх **не можна змішувати** з етиленгліколевими.

Як було сказано вище низькозамерзаючі охолоджувальні рідини (етиленгліколеві антифризи) широко використовують як охолоджувальні рідини для автомобільних двигунів.

**Етиленгліколь** – це двохатомний спирт ( $\text{CH}_2\text{OH}-\text{CH}_2\text{OH}$ , або  $\text{C}_2\text{H}_4(\text{OH})_2$ ), що являє собою отруйну маслянисту жовту рідину без запаху. Він добре змішується з водою у будь-яких співвідношеннях і замерзає при  $-11,5\text{ }^\circ\text{C}$ . Однак при змішуванні етиленгліколю з водою температура застигання суміші нижче ніж кожного з компонентів окремо. При змішуванні етиленгліколю з водою у різних співвідношеннях можна отримати суміші, що замерзають від 0 до  $-75\text{ }^\circ\text{C}$ . У міру додавання у воду етиленгліколю температура суміші знижується. Мінімальна температура суміші досягається при вмісті у ній 33% води. Подальше зменшення вмісту веде до підвищення температури замерзання (рис. 7.6).

*Оскільки щільності етиленгліколю та води різні, то при змішуванні їх у різних співвідношеннях змінюється щільність антифризу. За щільністю охолоджувальної рідини можна визначити температуру її замерзання.*

До охолоджуючих низькозамерзаючих рідин відносяться водні розчини етиленгліколю з антикорозійними, антиспінюючими, стабілізуючими присадками та барвниками. Їх виготовляють наступних марок:

**ОЖ-К** (концентрат) – води трохи більше 5%, щільність 1100... 1150  $\text{кг}/\text{м}^3$ . При додаванні у концентрат дистильованої води в об'ємному співвідношенні 1:1 температура кристалізації розчину  $-35\text{ }^\circ\text{C}$ ;

**ОЖ-65** – густина 1085... 1100  $\text{кг}/\text{м}^3$ , початок кристалізації не вище  $-65\text{ }^\circ\text{C}$ ;

**ОЖ-40** – густина 1065... 1085  $\text{кг}/\text{м}^3$ , початок кристалізації не вище  $-40\text{ }^\circ\text{C}$ .

**«ТОСОЛ»** – одна з назв антифризу, утворена з двох частин: «ТОС» – «Технологія органічного синтезу» (найменування відділу ДержНДІОХТ, який створив антифриз); «ОЛ» – закінчення, характерне для спиртів (етанол, бутинол, метанол).

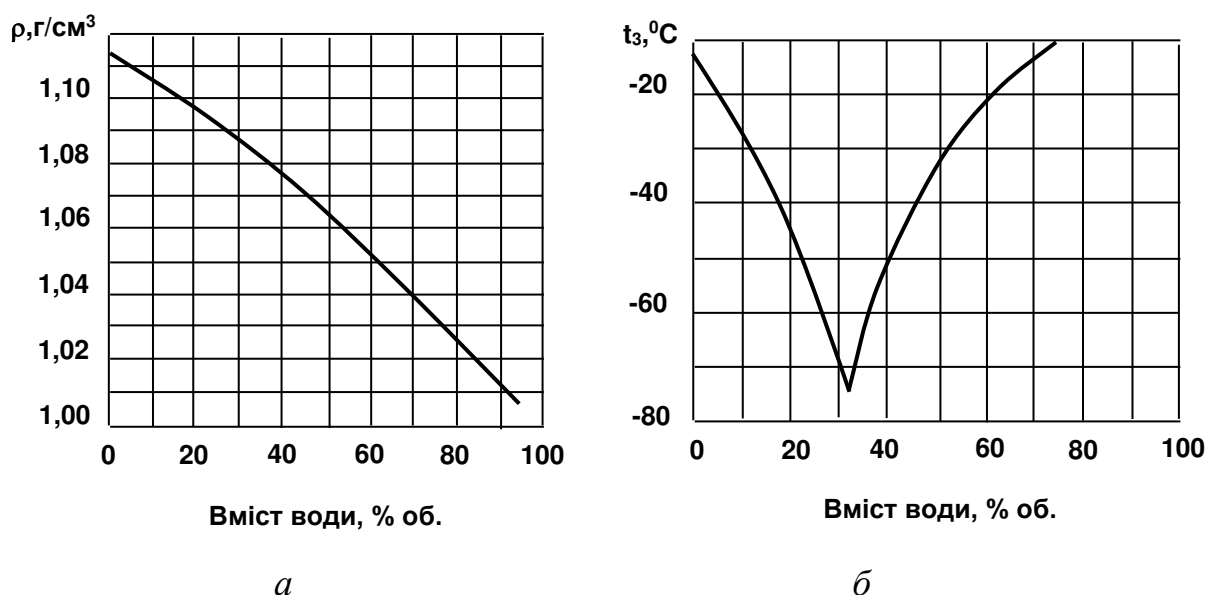


Рисунок 7.6 – Залежності щільності  $\rho$  при 20°C (а) і температури замерзання  $t_3$  антифризів від вмісту в них води (б)

Цей антифриз був розроблений у 1971 р. у Державному науково-дослідному інституті органічної хімії та технології (ДержНДІОХТ) для автомобілів ВАЗ замість італійського «ПАРАФЛЮ». Торгова марка «ТОСОЛ» не була зареєстрована, тому її застосовують багато вітчизняних виробників охолоджувальних рідин. Але експлуатаційні властивості «тосолів» можуть бути різними, оскільки визначаються присадками, що використовуються, а вони відрізняються у різних виробників.

Характеристика низько замерзаючої охолоджувальної рідини «Тосол» наведена в таблиці 7.6.

Таблиця 7.6 – Основні показники охолоджувальної рідини «Тосол»

Показник	«Тосол АМ»	«Тосол А-40М»	«Тосол А-65М»
Колір	Голубий	Голубий	Червоний
Щільність при 20°C, кг/м <sup>3</sup>	1120... 1140	1075... 1085	1085... 1095
Температура початку кристалізації, °C, не вище	—	– 40	– 65
Корозійні втрати металів при випробуваннях, кг, не більше:			
міді	10	10	10
припою	12	12	12
алюмінію	20	20	20
чавуну	10	10	10
Склад, %:			
етиленгліколь	97	56	64
вода	3	44	36

Іноді у прості антифризи вводять молібденовий натрій у кількості 7,5...8,0г на літр, що запобігає корозії цинкових та хромових покриттів на деталях системи охолодження. При цьому у позначення антифризу додають букву «М».

Склад охолоджувальних низькозамерзаючих рідин визначають гідрометром (рис. 7.7), який має подвійну шкалу – вмісту етиленгліколю та температури замерзання.



Рисунок 7.7 – Гідрометр та його шкала

Охолоджувальну рідину наливають у скляний циліндр і обережно опускають гідрометр. Після того, як гідрометр встановиться, по верхній межі меніска відраховують на шкалі значення складу охолоджувальної рідини та температури застигання. Температура охолоджувальної рідини повинна бути 20°C.

*Усі охолоджувальні низькозамерзаючі рідини застосовують всесезонно.* При їх використанні в двигунах внутрішнього згорання слід враховувати деякі особливості. При роботі двигуна, із системи охолодження випаровується насамперед вода, яку необхідно періодично додавати. Якщо ж із системи охолодження стався витік охолоджувальної рідини, то потрібно додати антифриз.

Охолоджувальні рідини мають високий коефіцієнт об'ємного розширення, тому в систему охолодження не доливають 6...8% рідини. При замерзанні охолоджувальної рідини всередині системи охолодження двигуна утворюється кашоподібна пухка маса, об'єм якої збільшується дуже мало (приблизно на 0,25%), внаслідок чого відсутня небезпека розморожування двигуна. Попадання бензину, оливи та інших нафтопродуктів в охолоджувальну рідину викликає сильне піноутворення та викид рідини через пробку радіатора із системи охолодження.

Етиленгліколеві охолоджувальні рідини мають меншу теплоємність, ніж вода. Тому при заміні води на охолоджувальну рідину в системі охолодження двигуна допускаються вищі температури. Охолоджувальні рідини мають велику рухливість і проникність, викликають деяке розм'якшення гуми. У зв'язку з цим необхідно ретельно слідкувати за станом з'єднувальних шлангів системи охолодження. Оскільки **етиленгліколеві охолоджувальні рідини отруйні**, то при роботі з ними слід суворо дотримуватися запобіжних заходів. Рідину не можна засмоктувати ротом для ство-

рення сифона, систему охолодження треба заповнювати обережно, не допускаючи розливу та переливу рідини. Перед прийомом їжі руки забруднені охолоджувальною рідиною обов'язково треба вимити з милом, так як при попаданні її в організм людини відбуваються важкі отруєння, іноді зі смертельним результатом.

### **Міжнародна стандартизація охолоджувальних рідин**

Для захисту своїх споживачів великі держави встановлюють спеціальні норми якості для охолоджувальних рідин. Охолоджувальним рідинам, що пройшли перевірку та тести з боку автовиробників та органів стандартизації, надаються відповідні свідоцтва – *стандарти*.

Вимоги до антифризів зарубіжного виробництва зазвичай визначаються *стандартами ASTM* (Американська асоціація з випробування матеріалів) і *SAE* (Товариство автомобільних інженерів США). Ці стандарти регламентують властивості концентратів та антифризів виходячи з їх основи (етиленгліколю або пропіленгліколю) та умов експлуатації. Наприклад, етиленгліколеві рідини призначені:

- за ASTM D 3306 та ASTM D 4656 – для легкових автомобілів та малих вантажівок;
- за ASTM D 4985 та ASTM D 5345 – для двигунів, що працюють у важких умовах: довгостроково експлуатуються в режимах, близьких до максимальної потужності, на позашляховій техніці, великих вантажівках, стаціонарних силових установках тощо. Ці рідини відрізняються тим, що перед використанням необхідно додавати спеціальну присадку.

Імпортні антифризи ASTM D 3306 можна використовувати для вітчизняних легкових автомобілів.

Ось приклади деяких визнаних міжнародних стандартів:

ASTM D 3306; ASTM D 4340; ASTM D 4985; SAE J1034 (США)

BS 6580; B5 5117 (Велика Британія)

JIS K 2234 (Японія)

AFNOR NF R 15-601 (Франція)

FVV HEFT R 443 (Німеччина) і т.д.

З початку 90-х років минулого століття на зміну традиційним антифризам прийшли антифризи нового покоління, виготовлені на основі карбоксилатної технології. До складу цих антифризів крім етиленгліколю та води вводять пакети інгібіторів корозії на основі композиції солей моно та дикарбонових кислот. Такі охолоджувальні рідини найбільш повно відповідають вимогам, що пред'являються автомобілістами до охолоджувальних рідин. Вони мають високу температуру кипіння, низьку температуру замерзання, надійно захищають металеві деталі системи охолодження автомобілів від корозії, мають гарну сумісність із гумовими та пластмасовими складовими системи, високий термін експлуатації (до 5 років).

### **Міжнародна класифікація охолоджувальних рідин**

Як ми вже зазначали, до складу сучасних антифризів входять етиленгліколь, вода та присадки. Базові компоненти, вода та етиленгліколь, становлять 93-97% обсягу рідини, решта – присадки. Саме присадки визначають антикорозійні та антикавітаційні властивості антифризу, його термін експлуатації та вартість. І саме *за присадками відрізняються один від одного антифризи* різних класів та компаній-виробників.

**Антифризи випускають або у вигляді концентратів, або у вигляді готових до застосування рідин.** Концентрат антифризу містить лише етиленгліколь та присадки. Передбачається, що воду споживач додасть самостійно, а оптимальне співвідношення концентрату та води становить для наших широт 50:50. Готові до застосування рідини вже містять необхідну кількість демінералізованої води та розраховані на температуру початку кристалізації залежно від клімату, в якому експлуатується автомобіль.

В Україні та на пострадянському просторі за класифікацію антифризів прийнято стандарт компанії Volkswagen. Він передбачає поділ охолоджувальних рідин на класи за складом присадок на **традиційні, гібридні та карбоксилатні**.

**Традиційні антифризи (клас G11)** у своєму складі мають етиленгліколь та неорганічні присадки (силікати, фосфати, борати, аміни, нітрити) і в даний час вважаються морально застарілими, оскільки неорганічні інгібітори мають невеликий (не більше 2...3 років або 45...60 тис. км пробігу) термін служби та не витримують високих (понад 105°C) температур. Силікати в процесі експлуатації покривають всю внутрішню поверхню системи охолодження силікатним шаром, що погіршує теплообмін та знижує ефективність охолодження двигуна. Силікатні антифризи також не захищають від кавітації. Сьогодні вони використовуються в старих моделях автомобілів і в автомобілях, що відслужили свій термін, для яких головна перевага охолоджувальної рідини – її дешевизна. Класифікуються як антифризи для автомобілів до 1996 року випуску. До традиційних антифриз відносяться всілякі варіації Тосола.

На відміну від традиційних антифризів термін служби **гібридних антифризів (клас G12)** більший – у середньому 3...5 років, або 250 тис км пробігу. До складу їх пакетів присадок також входять солі карбонових кислот та невеликі добавки силікатів (європейська технологія) або фосфатів (японська та корейська технології). У технічній літературі гібридні антифризи позначають: Hybrid Technology, NF (Nitrite Free), **G12** (за специфікацією VW TL 774C). Цей клас антифризу має свої підкласи **G12+** та **G12++**, що відрізняються складом присадок або основою.

**Клас G12.** Антифризи на основі органічних карбоксилатних сполук. Класифікуються як антифризи для автомобілів 1996-2001 років випуску. Найкращим чином підходять для високооборотних і температурнавантажених двигунів. Максимальний термін служби антифризів цього класу близько 5-6 років.

**Клас G12+.** Класифікується як антифризи для автомобілів із 2001 року випуску. Не містять нітритів, фосфатів, боратів, силікатів, амінів.

**Карбоксилатні антифризи (клас G13)** вважаються кращими за своїми змащувальним і антикорозійним властивостями, за температурою замерзання та кипіння, мають меншу агресивність по відношенню до таких деталей, як сальники, прокладки, патрубки та ін., а також високий термін експлуатації. Основу присадок карбоксилатних антифризів становлять солі карбонових кислот. Карбоксилатні антифризи використовуються на більшості світових автозаводів для першої заправки сучасних автомобілів, а також у сервісних центрах при технічному обслуговуванні. Вони відповідають вимогам специфікації VW TL 774F (G12+). У технічній літературі та в назвах антифризів зустрічаються такі терміни для позначення карбоксилатних технологій: OAT (Organic Acid Technology), LLC (Long Life Coolant), XLC (eXtended Life Coolant), SNF (Silicate Nitrite Free), SF (Silicate Free), **G13** (За специфі-

кацією VW TL 774D). Карбоксилатні антифризи здатні експлуатуватися протягом тривалого періоду часу – більше 5 років, з пробігами більше 250 тисяч км у легкових та 650 тисяч км у вантажних автомобілях. У складі антифризів замість етиленгліколю використовується пропіленгліколь. Це екологічніший продукт (не отруйний, швидше розкладається). Але й дорожчий. Це група антифризів для форсованих/спортивних двигунів автомобілів та мотоциклів, що працюють в екстремальних режимах. Через свою дорожнечу не виробляється на території країн СНД.

## 7.6 ГАЛЬМІВНІ РІДИНИ

### Призначення та характеристики гальмівних рідин

**Призначення** гальмівної рідини полягає у передачі енергії від головного гальмівного циліндра до колісних циліндрів, які притискають гальмівні колодки до гальмівних дисків або барабанів. Тиск у гідроприводі гальм досягає 10 МПа, а температура рідини в дискових гальмах – 150...190°C. Під час роботи в гальмівну систему через гумові ущільнення проникає вологе повітря, внаслідок чого гальмівна рідина зволожується і температура її кипіння знижується. Якщо при експлуатації автомобіля температура кипіння рідини стане нижчою за 150°C, то в ній виділяються бульбашки газу та пари, утворюючи парові пробки. Це може призвести до відмови гальм та аварії. **Температура кипіння гальмівної рідини** – головний показник, що визначає гранично допустиму робочу температуру гідроприводів гальм.

При експлуатації автомобіля внаслідок обводнення температура кипіння гальмівної рідини поступово знижується. Тому визначають температуру зволоженої рідини, що містить 3,5% води. Цей показник побічно характеризує температуру, при якій рідина «закипатиме» через 1,5...2 роки роботи в гідроприводі гальм.

*На всіх легкових автомобілях гальмівна система має гідравлічний привід, надійність роботи якого залежить від якості гальмівної рідини.*

**Експлуатаційні вимоги** до гальмівних рідин такі: досить висока температура кипіння; велика рухливість, мала в'язкість; температура замерзання нижче температури навколишнього повітря; збереження однорідності, тобто гальмівна рідина не повинна розшаровуватися і в ній не допускається випадання згустків та осаду; повна сумісність із гумовими деталями та металом гальмівної системи; хороша змащувальна здатність.

Сучасні гальмівні рідини є суміші ефірів з полімерами і присадками. У СНД випускають рідини БСК, "Нева", "Томь", "Роса", "Роса-3", "Роса ДОТ-3", "Роса ДОТ-4" (табл. 7.7).

Не можна змішувати рідини, виготовлені на різних основах, оскільки це призводить до розшарування гальмівної рідини та погіршення її експлуатаційних властивостей. Якщо марка гідравлічної рідини, залитої в гальмівну систему, невідома, роблять пробу на змішування. У пробірку наливають у рівних кількостях рідину з гальмівної системи та рідину, яку передбачається долити в систему. Потім їх збовтують. Якщо відбулося розшарування суміші, то доливати гальмівну рідину до системи не можна.

Таблиця 7.7 – Характеристики гальмівних рідин

Показник	«Нева»	«Томь»	«Роса», «Роса-3», «Роса ДОТ-4»	БСК
Зовнішній вигляд	Прозора однорідна рідина від світло-жовтого до темно-жовтого без осаду. Допускається слабка опалесценція*			Прозора однорідна рідина помаранчево-червоного кольору
Кінематична в'язкість, мм <sup>2</sup> /с при температурі:				
50°C, не менше	5	5	5	9
100°C, не менше	2	2	2	–
–40°C, не більше	1500	1500	1450	2500
Низькотемпературні властивості: зовнішній вигляд витримки (6 год, –50°C)	Прозора рідина без розшарування та осаду			
Час проходження бульбашки повітря через шар рідини при перекиданні судини, с, не більше	35	35	8	–
Температура кипіння, °C, не нижче	195	220	260	115
Температура кипіння «звложеної» рідини, °C, не менше	138	155	165	110
Вміст механічних домішок, %	Відсутні			
pH	7,0...11,5	7,0...11,5	7,5...9,0	≥6
Взаємодія з металами, що оцінюється зі зміни маси пластин, мг/см <sup>2</sup> , не більше:				
біла бляха	0,1	0,1	0,1	0,2
сталь 10	0,1	0,1	0,1	0,2
алюмінієвий сплав Д-16	0,1	0,1	0,1	0,1
чавун СЧ 18	0,1	0,08	0,1	0,2
латунь Л62	0,4	0,1	0,2	0,4
мідь М1	0,4	0,2	0,2	0,4

Продовження таблиці 7.7

Вплив на гуму, %:				
зміна обсягу гуми марки 7-2462 при 70°C	2...10	2...10	2...10	5...10
зміна обсягу гуми марки 51-1524 при 120°C	2...8	2...10	2...10	—
Зміна межі міцності гуми марки 51-1524, %, не більше	20	18	25	—

\*Опалесценція – це яскраве свічення блакитного кольору.

**Гальмівна рідина БСК** прозора, однорідна, червоного кольору, без опадів та механічних домішок. Вона являє собою суміш 50% касторової оливи та 50% бутилового спирту. Щільність рідини при 20°C становить 890...900 кг/м<sup>3</sup>, кінематична в'язкість за нормальної температури 50°C у межах 9...13сСт. Завдяки наявності касторової оливи рідина має гарні змащувальні властивості, не викликає великого набухання або розм'якшення гумових ущільнювальних деталей гальмівної системи. Проте в'язкісно-температурні властивості цієї рідини незадовільні, тому її рекомендують застосовувати лише у середній смузі країни. Нестача спиртокасторової суміші – висока температура кристалізації касторової оливи. Кристалізація починається при –5 °С і інтенсивно протікає при –20 °С. В результаті цього утворюються згустки, які можуть закупорити трубопроводи гідравлічного приводу та викликати відмову гальм автомобіля. Рідину БСК не рекомендується застосовувати за температури навколишнього повітря нижче –20 °С і вище +30°C. Її слід оберегати від води, яка може призвести до розшарування рідини.

**Гальмівна рідина «Нева»** має колір від світло-жовтого до жовтого, прозора. Вона рекомендується для легкових автомобілів. До її складу входить 51...59% етилкарбітолу, 31...34 – ліолів, 5% ефірів карбітолу та 13,5% сумішей гліколів та полігліколів, а також в'язкісна та протикорозійна присадки. Рідина «Нева» має гарні в'язкісно-температурні властивості. Щільність її при 20 °С становить 1012...1015 кг/м<sup>2</sup>, кінематична в'язкість при 50 °С не менше 5 сСт. Вона добре розчиняє воду, однорідність водної суміші зберігається при 40 °С і нижче. Гальмівна рідина «Нева» є вогненебезпечною, попадання її на шкіру людини призводить до дерматитів. Рідину використовують у гідроприводі гальм і зчеплень старих моделей вантажних і легкових автомобілів випуску до 1985 р. Термін служби рідини не перевищує одного року.

**Гальмівна рідина «Томь»** розроблена замість рідини «Нева» і має кращі експлуатаційні властивості. Її виготовляють на основі етилкарболіту та боровмісного поліефіру з додаванням загущаючої та антикорозійної присадок. Повністю сумісна з рідиною «Нева», володіє хорошими антикорозійними і протизносними властивостями і невеликим зниженням температури кипіння при обводненні. "Томь" працездатна при температурі навколишнього середовища від –40 °С до +45 °С. Її використовують у гідроприводі гальм та зчепленні всіх моделей вантажних та легкових автомобілів, за винятком передньопривідних автомобілів ВАЗ. Термін служби рідини становить два роки. Зарубіжними аналогами рідин «Нева» та «Томь» є гальмівні рі-

дини, що відповідають міжнародній класифікації DOT-3.

**Гальмівні рідини «Роса DOT-4», «Роса DOT-3», «Роса-3» і «Роса»** – високо-температурні рідини, що виробляються на основі полієфіру, що містить бор, і в який вводять антиокислювальні і антикорозійні присадки. Гальмівні рідини «Роса» та «Роса-3» відрізняються від рідини «Роса DOT-4» лише наявністю у своєму складі різних пластифікаторів. Рідина працездатна при температурах навколишнього середовища від  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+45\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Їх застосовують у гальмівних системах сучасних легкових та вантажних автомобілів. Ці рідини сумісні з гальмівними рідинами «Томь» та «Нева» у будь-яких співвідношеннях. Термін служби рідин – три роки.

## 7.7 АМОРТИЗАТОРНІ РІДИНИ

Амортизатори служать для гасіння коливань кузова на пружних елементах підвіски. При цьому хід автомобіля стає плавним навіть під час руху поганими дорогами. **Амортизаторні рідини** є робочим тілом у гідравлічних амортизаторах телескопічного та важільно-кулачкового типу.

Робота амортизаторів заснована на поглинанні кінетичної енергії коливання кузова автомобіля при протіканні під тиском рідини амортизатора через вузькі отвори з однієї порожнини в іншу. Тиск рідини в амортизаторах становить  $8\text{...}11\text{ МПа}$ , а температура змінюється залежно від пори року та кліматичних умов місцевості від  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+140\text{ }^{\circ}\text{C}$ . **Амортизаторні рідини повинні мати** хороші в'язкісно-температурні, змащувальні та антипінні властивості, низьку температуру застигання, високу антиокислювальну і механічну стабільність, а також сумісність з гумовими ущільненнями.

Головний експлуатаційний показник амортизаторних рідин – **в'язкість** при позитивних та негативних температурах. При температурі  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  кінематична в'язкість не повинна перевищувати  $800\text{ сСт}$ . За більшої в'язкості робота амортизаторів значно погіршується, відбувається блокування підвіски.

В якості амортизаторних рідин використовують малов'язкі нафтові оливи різних марок або їх суміші, які містять в'язкісну, депресорну, антиокислювальну, протизносну, диспергуючу і антипінну присадки. Випускають такі амортизаторні рідини (табл. 7.8): АЖ-12Т, МГП-12 (торгова марка "Славол-АЖ"), ГРЖ-12.

**Амортизаторна рідина АЖ-12Т** призначена для телескопічних і важільно-кулачкових амортизаторів автомобілів. Рідина являє собою суміш малов'язкої оливи селективного очищення із сірчистих нафт і етилполісилоксанової рідини з протизносною та антиокислювальними присадками. Її кінематична в'язкість при  $50^{\circ}\text{C}$  не менше ніж  $12\text{ мм}^2/\text{с}$ , при  $-40^{\circ}\text{C}$  – не більше  $6500\text{ мм}^2/\text{с}$ ; температура застигання –  $52^{\circ}\text{C}$ , що забезпечує м'яку роботу амортизаторів у будь яку пору року. Амортизаторна рідина АЖ-12Г прозора, від світло-жовтого кольору.

**Амортизаторна рідина МГП-12** («Славол-АЖ») є малов'язкою низькозастигаючою нафтовою основою, в яку введені депресорна, диспергуюча, протизносна, антиокислювальна і антипінна присадки. Її кінематична в'язкість при  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  не менше  $12\text{ мм}^2/\text{с}$ , температура застигання не вище  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Рідину застосовують у телескопічних стійках та амортизаторах легкових та вантажних автомобілів.

Таблиця 7.8 – Характеристики амортизаторних рідин

Показник	АЖ-12Т	МГП-12	ГРЖ-12
Кінематична в'язкість, мм <sup>2</sup> /с, при $t$ °С:			
40°С, не менше	—	—	16...20
50°С, не менше	12	12	—
100°С, не менше	3,6	3,8	3,9
-20°С, не більше	—	800	800
-40°С, не більше	6500	—	—
Температура, °С:			
спалаху, не нижче	165	140	140
застигання, не вище	-52	-50	-50
Щільність при 20°С, мг/см <sup>3</sup> , не більше	—	917	917
Стабільність проти окислення:			
осад після окислення, %	відсутній	—	—
кислотне число до (після) окислення, мг КОН/г, не більше	0,04 (0,1)	—	—
Вміст механічних домішок та води, %	—	відсутній	відсутній
Випробування на корозію	витримує		

*Амортизаторна рідина ГРЖ-12* є сумішшю очищеного трансформаторного і веретенного дистилатів. Містить депресорну, антиокислювальну, протизносну та антипінну присадки. Кінематична в'язкість при 40 °С становить 10...20 мм<sup>2</sup>/с, температура застигання -50 °С. Рідину використовують у амортизаторах та телескопічних стійках автомобілів.

*Веретенну оливу АУ (МГ-22-А) та гідравлічну оливу АУП (МГ-22-Б)* широко застосовують для амортизаторів автомобілів, незважаючи на те, що у них висока температура застигання та незадовільна в'язкісно-температурна характеристика. Їх в'язкість швидко зростає при зниженні температури, у зв'язку з чим збільшується жорсткість роботи амортизаторів.

Суміш турбінної та трансформаторної оливи у співвідношенні приблизно 1:1 використовують для амортизаторів. Однак вона не повною мірою відповідає вимогам до амортизаторних рідин. Суміш має температуру застигання близько -30°С і недостатньо хорошу в'язкісно-температурну характеристику. Кінематична в'язкість при 50°С дорівнює 16...16,5 мм<sup>2</sup>/с.

## 7.8 ПУСКОВІ РІДИНИ

Запуск автомобільних двигунів за низьких температур значно ускладнений. Для полегшення пуску двигунів внутрішнього згорання в холодну пору року застосовують пускові рідини двох марок: «Холод Д-40» для дизельних двигунів та «Арктика» для бензинових двигунів.

*Пускова рідина «Холод Д-40»* призначена для дизельних двигунів і має наступний склад, %: етиловий ефір – 58...62, ізопропілнітрат – 13...17, газовий бензин – 13...17 і малов'язка олива – 8... 12. Основний компонент пускової рідини – етиловий ефір, що має низьку температуру самозаймання, широку межу займистості та висо-

кий тиск насиченої пари. Етиловий ефір забезпечує самозаймання робочої суміші за порівняно низьких температур (близько 200°C). Для забезпечення плавного і послідовного займання до складу суміші вводять ізопропілнітрат і газовий бензин, які займаються після етилового ефіру, але раніше основного палива. Для зниження зносу деталей при пуску двигуна до складу пускової рідини додають 8...12% оливи.

Рідину випускають у запаяних ампулах або в аерозольній упаковці (у металевих балонах). Рідину вводять пусковим пристосуванням 6ПП-40 у впускний трубопровід дизеля. Завдяки цьому забезпечується пуск холодного дизеля за нормальної температури навколишнього повітря до -40°C.

**Рідина "Арктика"** застосовується у тих випадках, коли попередній прогрів бензинового двигуна неможливий. Пускова рідина має наступний склад, %: етиловий ефір – 45...60, газовий бензин – 35...55, ініціатор займання (ізопропілнітрат) – 1,5, олива з протизадирною присадкою – 2. Рідину зберігають в ампулах або балонах. Її вводять у впускний трубопровід двигуна за допомогою пускового пристрою 6ПП-40, після чого можливий пуск холодного двигуна при температурах навколишнього повітря до -40°C.

## 7.9 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Який склад пластичних мастил?
2. Назвіть експлуатаційні властивості пластичних мастил.
3. На які групи за призначенням ділять мастила?
4. Як позначають пластичні мастила?
5. Розкажіть про склад та сферу застосування солідолів та мастила Літол-24.
6. Яке призначення вуглеводневого захисного мастила ПВК?
7. Яким вимогам повинні відповідати охолоджувальні рідини?
8. Яким склад та властивості низькозамерзаючих охолоджуючих рідин?
9. Які види охолоджувальних рідин Ви знаєте?
10. Перелічіть класи антифризів. Чим вони відрізняються?
11. Для чого призначенні гальмівні рідини?
12. Перелічіть марки гальмівних рідин.
13. Навіщо призначені амортизаторні рідини?
14. Які властивості повинні мати амортизаторні рідини?
15. Перерахуйте марки пускових рідин.

## ЛЕКЦІЯ 8. КОНСТРУКЦІЙНО-РЕМОНТНІ МАТЕРІАЛИ

План лекції:

8.1 Лакофарбові матеріали

8.2 Пластичні матеріали

8.3 Клеючі матеріали

8.4 Гуми, оббивні, ущільнювальні та ізоляційні матеріали

8.5 Контрольні питання

### 8.1 ЛАКОФАРБОВІ МАТЕРІАЛИ

#### Призначення лакофарбових матеріалів

Лакофарбові матеріали служать для створення на поверхні, що фарбується, міцного шару з лаків і фарб, запобігаючи утворенню корозії на кузовах автомобілів (що виготовляються найчастіше з листової сталі) і деталях кузова, що піддаються сильному впливу навколишнього середовища таким, наприклад, як погодні умови, дорожній бруд, вода, забруднене повітря, механічне стирання та ін. і для декоративного оздоблення.

Забарвлення є одним із показників, що характеризують легковий автомобіль. Вона створює не тільки загальне враження: якісне забарвлення та подальший систематичний та ретельний догляд за нею – це ще й надійний захист від корозії, продовження терміну служби автомобіля.

У процесі експлуатації автомобілів лакофарбові покриття втрачають свої якості. Верхній шар покриття тьмяніє, втрачає свій початковий колір. З'являються подряпини, тріщини та інші дефекти, що потребують відновлення покриття.

Для підтримки гарного зовнішнього вигляду автомобіля необхідний постійний догляд за лакофарбовим покриттям, а також часткова або повна його заміна.

#### Вимоги до лакофарбових покриттів

Відповідно до призначення лакофарбові матеріали та покриття з них повинні відповідати таким основним вимогам:

- міцно утримуватись на поверхні;
- мати необхідну механічну міцність, твердість і еластичність;
- мати стійкість проти впливу вологи, нафтопродуктів, відпрацьованих газів та сонячних променів;
- бути водо- та газонепроникними;
- зберігати свої властивості при позитивних температурах влітку і негативних температурах взимку (володіти температурною стійкістю);
- бути нейтральними, не викликати корозії пофарбованих поверхонь;
- швидко висихати після нанесення на поверхню та не вимагати для цього складних сушильних пристроїв;
- забезпечувати необхідний колір поверхні, що фарбується при мінімальних товщині і кількості шарів, що наносяться.
- мати гарну покриваність;
- поверхня лакофарбового покриття повинна бути стійкою до сучасних методів та засобів миття та очищення;
- мати стійкість до впливу таких факторів як ультрафіолетові промені, вихло-

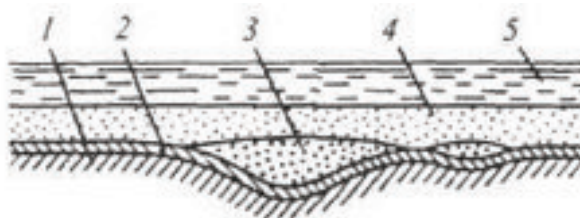
пні гази та інші агресивні продукти;

– бути недорогими, довговічними та дозволяти робити часткове або повне відновлення недорогими та доступними способами.

Жоден із сучасних матеріалів повністю не відповідає зазначеним вимогам. З цієї і низки інших причин у більшості випадків покриття робляться багатошаровими, в яких кожен із шарів або група з них повністю відповідає лише одному або декільком вимогам. Для поліпшення зовнішнього вигляду автомобіля в даний час все частіше використовують лакофарбові покриття з ефектами "металіка" та перламутру, блискучі, а також двотонові покриття. Загальна кількість і якість таких вузькофункціональних шарів підбирається так, щоб покриття в цілому відповідало необхідною мірою сукупності всіх вимог.

#### **Будова лакофарбового покриття та вимоги до основних матеріалів**

Основними елементами будови багатошарового лакофарбового покриття (рис. 8.1) є шар ґрунту, шар шпаклівки і кілька шарів фарби. Ці шари наносять у певній технологічній послідовності.



1 - поверхня, що фарбується; 2 - шар ґрунту; 3 - шар місцевої шпаклівки;  
4 - шар загальної шпаклівки; 5 - шар фарби.

Рисунок 8.1 – Будова багатошарового лакофарбового покриття

Лакофарбові покриття наносять тільки на попередньо підготовлені поверхні, з яких видалені пил, бруд, іржа, окалина, залишки зварювальних флюсів, плівки нафтопродуктів, жирові плями, що стали непридатними для старих покриттів і т.д.

На підготовлену поверхню наноситься перший шар покриття – **ґрунт**. Основне його призначення – забезпечити високу адгезію між металами та наступними шарами покриття.

Висушений ґрунт має невелику (близько 15-30 мкм) товщину, тому вм'ятини, подряпини та інші дефекти повністю зберігаються на заґрунтованому виробі.

Виходячи з цього, від ґрунтів вимагається:

– високе прилипання (адгезія) до металів, деревині та інших конструкційних матеріалів;

– здатність утримувати у собі наступні шари покриття за допомогою взаємопроникнення матеріалів;

– хороші протикорозійні властивості;

– по можливості швидке висихання.

**Ґрунтування, заповнення і ущільнення** поверхні, що фарбується проводиться рядом ґрунтовок, що виробляються промисловістю та доступні на ринку. Вибір певного виду ґрунтування залежить від обробки певного виду поверхні.

Випускаються такі ґрунтовки:

- ґрунтовка для чистого металу;
- ґрунтовка-порозаповнювач;
- ґрунтовка для захисту від ударів каміння;
- ґрунтовка та порозаповнювач для пластмас;
- засоби підвищення адгезії та ін.

**Шпаклювання** – це процес порозаповнення який служить для вирівнювання поверхні, що фарбується, заповненням наявних на ній заглиблень. Розрізняють місцевий та загальний шпаклювальні шари.

Перший має на меті вирівнювання великих дефектів, другий – отримання гладкого покриття по всій площі, що фарбується.

Від шпаклювальних матеріалів потрібно:

- хороше прилипання до ґрунтів;
- достатня механічна міцність, особливо ударо- та вібростійкість;
- порівняно хороша висихаємість;
- здатність шліфуватися.

Оброблена шпаклівка, а за її відсутності заґрунтована поверхня, покривається декількома шарами фарби, число та обробка яких залежать від вимог, що висувуються до зовнішнього вигляду покриття, від умов його експлуатації і т.д. За будь-якого способу фарбування кожен шар проходить етап сушіння, а зовнішні шари можна додатково шліфувати, полірувати.

Від фарб вимагається:

- достатня адгезія до ґрунтів та шпаклівок;
- здатність утворювати суцільну захисну плівку;
- висока атмосферостійкість;
- стійкість до впливу технічних рідин та інших речовин, з якими покриття контактує під час експлуатації машин;
- здатність добре закривати колір нижчих шарів покриття;
- достатня стійкість до механічних впливів: ударів, вібрації, вигину тощо;
- здатність поліруватися.

Необхідно відзначити, що технологічні процеси нанесення лакофарбових покриттів на заводі-виробнику автомобілів та при ремонті автомобілів суттєво відрізняються один від одного. Як приклад на рисунку 8.2 представлені технологічні схеми покриття лакофарбовими матеріалами кузова автомобіля в заводських умовах.

За загальної високоякісної ремонтної системи рекомендуються такі матеріали:

- засіб для видалення силікону;
- двокомпонентна ґрунтовка на основі уретану;
- двокомпонентна поліефірна ґрунтовка;
- двокомпонентний ґрунт-порозаповнювач на основі уретану;
- двокомпонентний ґрунт-порозаповнювач для нанесення товстим шаром;
- двокомпонентна покривна емаль на основі акрилуретану;
- емаль-основа у двошаровій системі;
- двокомпонентний прозорий лак на основі акрилуретану.

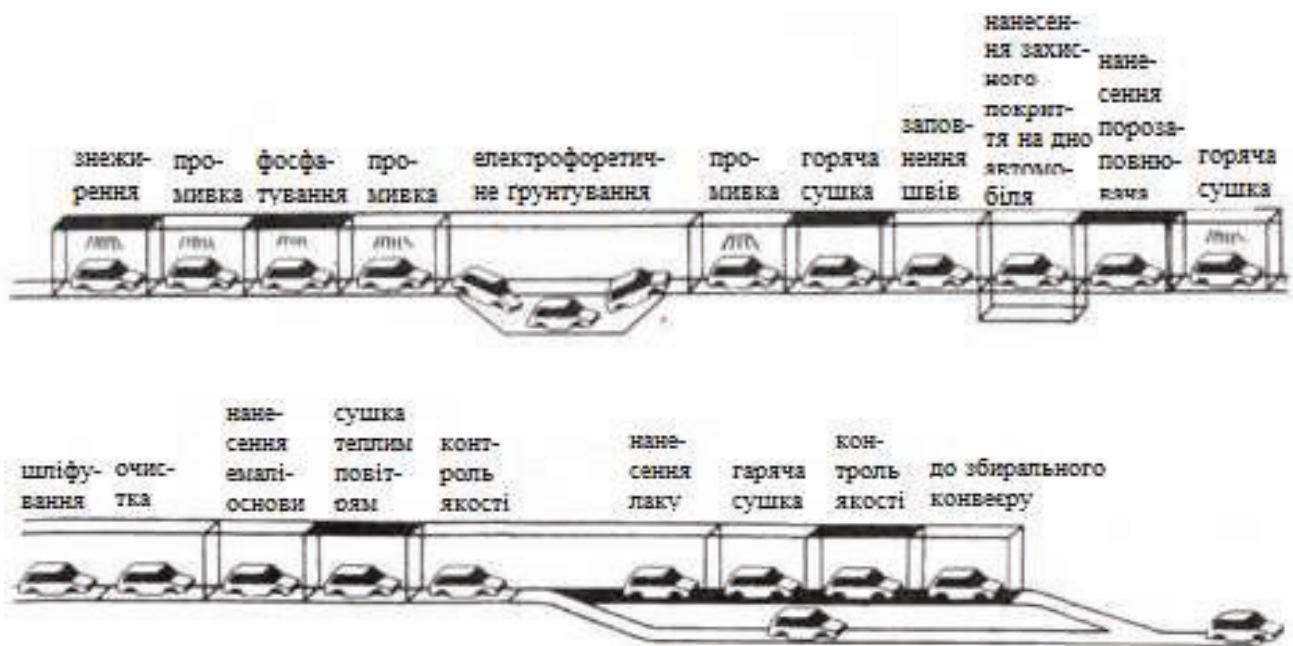


Рисунок 8.2 – Приклад технології фарбування кузова автомобіля у заводських умовах

При застосуванні лакофарбової системи "мокре по мокрому" рекомендується використовувати такі матеріали:

- склад видалення силікону;
- двокомпонентна поліефірна шпаклівка;
- двокомпонентний ґрунт-порозаповнювач;
- двокомпонентна покривна емаль на основі акрилуретану;
- емаль-основа у двошаровій системі;
- двокомпонентний прозорий лак на основі акрилуретану.

#### **Класифікація позначень лакофарбових матеріалів**

Лакофарбові матеріали поділяють на *основні та допоміжні* (ДСТУ ISO 3251:2015). До основних відносять ґрунти, шпаклівки, лаки та фарби. До допоміжних - рідини для підготовки поверхні до фарбування та догляду за лакофарбовими покриттями.

Лакофарбові матеріали позначаються п'ятьма групами знаків.

**Перша група** знаків визначає вид лакофарбового матеріалу і позначається повним словом, наприклад, "ґрунтовка", "шпаклівка", "емаль", "лак".

**Друга група** знаків визначає основну смолу, що входить до складу плівкоутворювальної речовини, і позначається двома літерами: ГФ – гліфталь, ПФ – пентафталь, ФЛ – фенольні, МЛ – меламінні, ЕП – епоксидні, ПЛ – полівінілацетатні, АС – сополімери НЦ – нітроцелюлоза, МА – оливи рослинні та ін.

**Третя група** знаків визначає ту групу, до якої віднесено лакофарбовий матеріал за його переважним призначенням: 0 – ґрунтовки та лаки напівфабрикатні, 00 – шпаклівки, 1 – атмосферостійкий, 2 – стійкий усередині приміщення, 5 – спеціальний (для шкіри, гуми тощо), 7 – стійкий до різних середовищ, 8 – термостійкий, 9 – електроізоляційний. Між другою та третьою групами знаків ставиться тире.

**Четверта група** знаків визначає порядковий номер, присвоєний даному лакофарбовому матеріалу, і позначається однією, двома чи трьома цифрами.

**П'ята група** знаків належить переважно емалям і визначає їх колір. Позначається повністю словами ("біла", "блакитна", а за наявності відтінків "блакитна-1", "блакитна-2" тощо). Якщо кольору емалі надано номер, то в п'ятій групі знаків вказується спочатку номер кольору, а потім пишеться колір повністю словами, при цьому між четвертою і п'ятою групами знаків ставиться тире.

Відповідно до викладеного з позначення "емаль МЛ-12-38 блакитна" випливає, що у даної емалі основна плівкоутворююча меламінна смола (МЛ); емаль атмосферостійка (1), її порядковий номер другий (2), а колір блакитний (38). За позначенням "Лак ГФ-95" можна встановити, що даний гліфталевий лак (ГФ), електроізоляційний (9) і має п'ятий порядковий номер (5).

Лакофарбові покриття класифікують за матеріалом покриття, зовнішнім виглядом поверхні покриття (клас покриття) та за умовами експлуатації (група покриття).

Матеріал покриття позначається відповідно до зазначеного вище.

**По зовнішньому вигляду поверхні** лакофарбові покриття поділяються на **чотири класи**.

**Перший клас** характеризується рівною однотонною поверхнею, без дефектів, видимих неозброєним оком. По першому класу фарбують кузови легкових автомобілів, і в цьому випадку лакофарбове покриття складається з ґрунту, місцевої та загальної шпаклівки та 3-6 шарів фарби. Поверхню покриття ретельно полірують.

**Другий клас** допускає на поверхні окремі малопомітні дефекти: порошини, штрихи, слід зачистки і т.п. За другим класом фарбують кузови автобусів, кабіни, крила та капоти вантажних автомобілів, тракторів, будівельних та дорожніх машин. Покриття другого класу зазвичай включають ґрунт, місцеву шпаклівку та 2-4 шари фарби.

**Третій клас** допускає нерівності, пов'язані зі станом поверхні, що фарбується до її фарбування. **Четвертий клас** допускає видимі дефекти, які впливають на захисні властивості покриття. По третьому і четвертому класу фарбують рами, осі, колеса, вантажні платформи, робочі органи та інші частини машин, які потребують лише протикорозійного захисту. Покриття третього та четвертого класу зазвичай складаються з ґрунту та 1-2 шарів фарби. У деяких випадках покриття четвертого класу складаються з одного шару фарби.

**За умовами експлуатації (стійкості)** лакофарбові покриття поділяються на вісім груп: стійкі всередині приміщення (П); атмосферостійкі (А), до яких відносяться покриття для автомобілів, тракторів, будівельних та дорожніх машин; хімічно стійкі (Х, ХК, ХЦ); водостійкі у прісній (В) та морській воді (ВМ); термостійкі (Т); маслостійкі (М); бензостійкі (Б) та електроізоляційні (Е).

**За ступенем блиску** лакофарбові покриття поділяються на глянцеві, напівглянцеві та матові. Ступінь блиску характеризується матеріалом покриття.

Наприклад, позначення "ЕМ НЦ-25, синій, 1.П" вказує на те, що лакофарбове покриття нанесене нітроемаллю (НЦ) синього кольору, виконане за першим класом (1) і стійке під час експлуатації всередині приміщень (П).

Найвищі вимоги до лакофарбових покриттів пред'являються при фарбуванні кузовів легкових автомобілів та автобусів. Тут, крім інших вимог, дуже важливо, щоб покриття мало гарний зовнішній вигляд. Ці покриття складаються з ґрунтовки, місцевої та загальної шпаклівки та декількох (2-5) шарів фарби.

Покриття вантажних автомобілів складається з ґрунтовки, місцевої шпаклівки та 1-2 шарів фарби.

Агрегати автомобілів (двигуни, рами, колеса та ін), а також дерев'яні вантажні платформи покривають одним шаром ґрунту (не завжди) і 1-2 шарами фарби.

Загальна товщина лакофарбового покриття зазвичай не перевищує 0,1 мм.

Провідні європейські виробники ремонтних лакофарбових матеріалів створили символічну мову, зрозумілу для всіх – піктограми, що знаходяться на упаковках лакофарбових матеріалів багатьох фірм.

### **Лакофарбові матеріали, що використовуються при ремонтному фарбуванні**

Потрібно пам'ятати таке:

а) сумісність всіх компонентів лакофарбових матеріалів досягається лише у тому випадку, якщо використовуються матеріали одного виробника (фірми);

б) дотримуватися рекомендацій фірми-виробника. Важливо зробити правильний підбір затверджувача, розріджувача (певне співвідношення суміші) для тих кліматичних умов, у яких матеріал буде використаний.

**Видалення лакофарбових матеріалів.** Видалити покриття лакофарбового матеріалу з поверхні можна двома шляхами:

а) за допомогою різних шліфувальних машин;

б) за допомогою розчинників (хімічне видалення).

**Шпаклювання-порозаповнення.** Для шпаклювання найчастіше застосовують двокомпонентні поліефірні шпаклівки. Попередньо поверхня має бути знежирена, з неї має бути видалена іржа і після цього її необхідно висушити.

Двокомпонентні поліефірні шпаклівки мають гарні адгезійні властивості з усіма поверхнями (чистий метал, ґрунтовки, лакофарбові шари, що знаходяться в хорошому стані). Зараз є універсальні поліефірні шпаклівки, які можна наносити і на оцинковані сталеві поверхні.

**Ґрунтування, заповнення та ущільнення.** Виготовляється цілий ряд ґрунтовок. Підбір ґрунтовки залежить від відповідного завдання та виду покривної емалі.

Ґрутовка для чистого металу. Якщо після попередньої підготовки поверхні з'являється чистий метал, то на нього наноситься однокомпонентна антикорозійна ґрутовка, у якої завдяки спеціальній композиції пігментів і смол хороші антикорозійні та адгезійні властивості. Ця ґрутовка може використовуватися і для нанесення її на деталі, виготовлені з алюмінію, чистої сталі або оцинковані.

**Ґрунти-порозаповнювачі.** В даний час використовують двокомпонентні матеріали на основі акрилполіуритану. Вони мають хороші адгезійні властивості, для них потрібен невеликий час сушіння і вони легко шліфуються.

Випускаються два види ґрунтів-порозаповнювачів. Перший використовують для виконання високоякісних робіт при повному фарбуванні кузова автомобіля. Він має високу стійкість, хороші ізолюючі та адгезійні властивості. Другий ґрунт можна наносити методом "мокрій по мокрому" і при цьому стійкість лакофарбового матеріалу знаходиться в межах від нормального до середнього з дуже хорошим розливом і хорошими ізолюючими властивостями; легко шліфується.

**Ґрунтовки для захисту від ударів каміння.** Це найчастіше водорозбавлювані продукти, які можна наносити на двокомпонентний ґрунт-порозаповнювач. Їх можна не фарбувати чи фарбувати покривними емаллями на основі синтетичної смоли

або двокомпонентними акриловими покривними емалями.

**Засоби, що підвищують адгезію** застосовують для посилення адгезії між старим і новим лакофарбовим покриттям, а також як ізолюючий шар для запобігання пошкоджень покривних лакофарбових матеріалів.

**Грунтовки та порозаповнювачі для пластмас.** В даний час в автомобілях використовують багато різних видів пластмас. Випускаються спеціальні засоби підвищення адгезії пластмас. На них наносяться двокомпонентні ґрунти-порозаповнювачі, модифіковані пластифікаторами.

**Нанесення покривних лакофарбових матеріалів.** Покривні емалі є основним елементом лакофарбового покриття.

Одним із чотирьох складових елементів емалі є смола від якої залежить можливість нанесення її на поверхню, сушіння, здатність бути перефарбованою та твердість.

Смоли що містяться нині в ремонтних лакофарбових матеріалах поділяються на: нітроцелюлозні, синтетичні алкіні, акрилові.

**Нітроцелюлозні смоли.** Застосовуються з 60-х років, виготовляються із деревного волокна та відходів бавовни. Ця смола є полімерним матеріалом, що вимагає великої кількості розчинника для зменшення в'язкості та отримання готового матеріалу. Нітроцелюлозні емалі мають низьку атмосферостійкість, відрізняються швидкою сушкою (відбувається швидке випаровування розчинників), простотою нанесення та полірування, легко перефарбовуються.

**Синтетичні смоли.** Синтетичні смоли можна використовувати протягом кількох років. Назва "синтетична смола" може відноситися до багатьох різних матеріалів. Для прискорення висихання найчастіше додають металеві каталізатори чи прискорювачі. Синтетичні смоли містять менше розчинників ніж нітроцелюлозні і тому на поверхні, що фарбується, утворюється більш товста плівка. Вони повільно сохнуть.

**Акрилові смоли.** Вони поділяються на дві групи – однокомпонентну акрилову смолу (термопластичну) та двокомпонентну акрилову смолу.

**Однокомпонентні акрилові смоли.** Вони швидко висихають, як і нітроцелюлозні, але менше схильні до впливу сонячних променів – менше схильні до вицвітання. Вони утворюють на поверхні дуже тонку плівку, дуже тендітні, важко перефарбовуються.

**Двокомпонентні акрилові смоли.** Вони виготовляються з двох компонентів – оксиакрилової смоли та затверджувача на основі ізоціаніту. Після змішування цих компонентів емаль висихає навіть за кімнатної температури. Так як двокомпонентні акрилові смоли містять невелику кількість розчинників при їх повному затвердінні утворюється товща плівка на один шар. За своїми властивостями вони близькі до заводських лакофарбових покриттів (мають високу хімічну стійкість, здатність до перефарбування, еластичність, твердість).

### **Компоненти лакофарбових матеріалів**

Лакофарбові матеріали, з яких одержують лакофарбові покриття, мають рідку консистенцію та містять у своєму складі багато компонентів.

Основна маса лаків використовується не в чистому вигляді, а йде поряд з оліфою для приготування фарб, ґрунтовок та інших матеріалів. З цією метою в лак чи оліфу вводиться пігмент. Залежно від виду плівкоутворювача отримують два типи фарб:

оліфа + пігмент → олійна фарба;

лак+пігмент → емалева фарба.

**Пігменти.** Найбільшого поширення як пігмент отримали перетворені в порошки оксиди металів (заліза, свинцю, цинку, титану та ін), деякі ретельно помелені природні неорганічні речовини (крейда, охра) і алюмінієва пудра. Основне призначення пігментів – надати фарбі бажаного кольору. На відміну від барвників вони нерозчинні в лаках та оліфі і тому повинні підтримуватись при фарбуванні у зваженому стані. Іншими словами, масляні та емалеві фарби є суспензією, а ця обставина відбивається на властивостях покриття. При висиханні нанесеної на виріб фарби зважені в ній пігменти певним чином упаковуються, від чого зростає міцність покриття, підвищується атмосферостійкість, зменшується горючість і т.д.

**Плівкоутворювачі.** Основу лаків, фарб, ґрунтів і шпаклівок складають плівкоутворювачі – тверді або рідкі речовини, здатні створювати суцільну тверду покривну плівку. Від плівкоутворювачів залежать міцність з'єднання лакофарбового покриття з поверхнею, що фарбується, стійкість проти впливу зовнішнього середовища (в першу чергу проти впливу корозії) та інші найважливіші якості покриттів. Застосовуються рідкі та тверді плівкоутворювачі.

**До рідких плівкоутворювачів** відносяться натуральні та синтетичні висихаючі олії (ляна, конопляна, бавовняна, соняшникова та ін.), на основі яких готують масляні лаки та фарби, масляні ґрунти та шпаклівки. У вигляді термічно- та хімічно оброблених продуктів вони є основою різних сортів оліфи. Кращі сорти оліфи (натуральної) одержують із льняної олії.

**Твердими плівкоутворювачами** є природні смоли (шелак, каніфоль і продукти її переробки, асфальт і т.д.) і синтетичні термопластичні, термореактивні і полімери, що отверждаються (гліфталеві і резольные смоли, ефіри, целюлози і т.п.). Для посилення тих чи інших властивостей плівкоутворювачів часто їх одержують у вигляді суміші. Наприклад, масляно-смольні плівкоутворювачі, що складаються зі смол та оліфи, застосовують при виготовленні поширених гліфталевих та пентафталевих емалевих фарб.

Процес формування лакофарбових покриттів для різних плівкоутворювачів протікає по-різному. Плівкоутворювачі, в яких за час висихання не відбувається хімічних перетворень, називаються **неперетворюваними**, а отримані з них покриття – **зворотними**. Всі термопластичні полімери будуть відноситися до цієї групи плівкоутворювальних речовин. Час, необхідний для сушіння фарб, що містять неперетворені плівкоутворювачі, визначатиметься летючістю розчинника та товщиною шару.

Плівкоутворювачі, здатні в процесі висихання зазнавати хімічних перетворень, називаються **перетворюваними**. У цьому випадку плівкоутворювачем служать ненасичені смоли та олії або термореактивні полімери. Висихання матеріалу, крім випаровування розчинника, супроводжується реакціями полімеризації, поліконденсації та окислення з утворенням покриттів із просторовою структурою макромолекул. Для прискорення висихання і зміцнення лакофарбових покриттів у цих випадках потрібна підвищена температура (гаряча сушка) або введення в фарби відповідних каталізаторів (сикативів). Покриття, що утворилося, виявляється **незворотним**, і його не можна знову перетворити на рідину обробкою розчинником.

**Розчинники.** Розчинники служать для розчинення плівкоутворювачів та утворення лаків. Вони є леткі рідкі органічні сполуки, які повинні випаруватися без залишку після нанесення лакофарбового матеріалу на поверхню.

**Розріджувачі.** Розріджувачі використовуються для часткової заміни розчинника і для зниження в'язкості лакофарбових матеріалів, є сумішами дешевших продуктів, ніж розчинники. Розріджувач у чистому вигляді, як правило, не здатний розчинити плівкоутворювачі, але, будучи доданим в лак або інший лакофарбовий матеріал, знижує його в'язкість. Надлишок розріджувача може викликати згортання плівкоутворювача і випадання його в осад. При виборі розріджувачів необхідно враховувати, щоб розчинник мав меншу леткість, ніж розріджувач.

До найбільш широко застосовуваних розчинників і розріджувачів відносяться такі продукти:

- *бензин-розчинник (уайт-спірит)* є вузькою фракцією бензину прямої перегонки, що википає в межах 165...200°C;
- *кам'яновугільний сольвент* (сольвент-нафта) є продуктом перегонки кам'яновугільної смоли і є сумішшю різних ароматичних вуглеводнів (ксилолу, толуолу, бензолу) і вуглеводнів інших груп;
- *скипидар* є продуктом перегонки смоли хвойних дерев. Це прозора летюча рідина з характерним запахом, без осаду та води. Википає за температури не більше 153...170°C;
- *кам'яновугільний ксилол* є ароматичним вуглеводнем, що отримується при ректифікації сирого бензолу;
- *розчинники № 646, 647, 648, 650 та розріджувач РДВ* являють собою суміші ацетону, ацетатів, спиртів та ароматичних вуглеводнів, взятих у різних співвідношеннях.

**Пластифікатори.** Пластифікатори, або пом'якшувачі, можуть додаватися до нітроцелюлозних лакофарбових матеріалів для надання покриттю гнучкості. Вони можуть також підвищувати прилипання, світло-, тепло-і морозостійкість. Як пластифікатори використовують рідкі та тверді нелеткі органічні продукти: трикрезилфосфат, трифенілфосфат, камфору, касторову та інші рослинні олії та термопластичні полімери. Через зменшення вмісту пластифікатора з часом підвищується крихкість покриття та його здатність до руйнування.

**Сикативи.** Сикативи – речовини, що прискорюють процес утворення лакової масляної плівки. Вони є оксидами свинцю, марганцю, кобальту або солі органічних кислот цих металів. Сикативи застосовують у рідкому та твердому вигляді і додають до фарб, що містять олію, у певних кількостях; великі кількості сикативів викликають не скорочення, а збільшення часу висихання. Завдяки каталітичній дії сикативів на реакцію окислення та полімеризацію плівки вона твердне в кілька разів швидше.

**Наповнювачі.** Наповнювачі застосовуються як домішки до занадто насичених і кривих барвників і кращого їх закріплення. Найбільш поширені наповнювачі: інертні – крейда, гіпс, каолін, тальк та активні – гідрат окису алюмінію, блафікс.

### **Властивості лаків та фарб**

До найважливіших показників лаків і фарб відносять: в'язкість, розлив, час висихання, покриваність, адгезію, міцність і твердість плівки, водо- та олиовбензостійкість, токсичність та вогнебезпечність.

**В'язкість.** Оптимальна величина в'язкості залежить від сорту фарби, а також має відповідати вибраному способу її нанесення. У більшості випадків коливання в'яз-

зкості при 18...20 °С укладаються в такі межі: для методу занурення 15...20 с, нанесення розпилювачем 20...30 с і при фарбуванні пензлем 30...60 с.

При підвищеній в'язкості зростає товщина плівки одного шару і знижується міцність плівки, при зниженій – зменшується товщина шару плівки і збільшується витрата розчинника.

**Розлив.** Розливом називають здатність фарб давати рівну, гладку поверхню, без штрихів від кисті та без шагрені при нанесенні пульверизатором. Розлив вважається задовільним, якщо сліди нанесення зникають не пізніше ніж через 10 хв після нанесення лакофарбових матеріалів на поверхню.

**Час висихання.** Час висихання лакофарбового матеріалу при заданій температурі вимірюється в хвилинах до моменту утворення тонкої плівки на поверхні – так зване висихання від пилу: або до повного випаровування розчинника – повне висихання. Тривалість висихання залежить від характеру матеріалу та температури повітря. Встановлено сім ступенів висихання: висихання до першого ступеня відповідає так званому висиханню "від пилу", до третього ступеня повному висиханню і т.д. Розроблено спеціальну методика визначення цього показника. Найбільш швидко висихаючими є нітроемалі. Час повного висихання при 18...20°С становить 15...20 хв. Завдяки цій властивості нітроемалі найширше застосовують у ремонтній практиці.

**Покриваність.** Покривистістю називається властивість фарби при нанесенні її тонким рівномірним шаром робити невидимим колір поверхні, що зафарбовується. Покриваність залежить від кількості та якості пігментів, введених у фарбу, і від властивостей плівкоутворювача. За показником покриваності судять про витрату фарби: що менше показник покриваності, то менше витрата фарби.

**Адгезія.** Адгезією називають здатність плівки фарби прилипати до поверхні, що фарбується.

**Міцність під час удару.** Міцністю при ударі називають здатність плівки не руйнуватися при дії ударного навантаження.

**Міцність при згинанні.** Міцність при згинанні лакофарбового покриття характеризується мінімальним діаметром стрижня (20,15,10,5,3 і 1 мм), згинання покриття на якому забарвлення металевої плівки не викликає її механічного руйнування.

**Міцність під час розтягування.** Міцність при розтягуванні вимірюється в міліметрах глибини прогину металевої пластинки в момент руйнування нанесеної плівки покриття.

**Твердість плівки.** Твердість плівки виражається відношенням часу загасання коливань маятника, встановленого на поверхні плівки, на час загасання коливань того ж маятника, встановленого на скляній пластинці.

**Бензо- та оливостійкість.** Бензо- та оливостійкістю називається здатність лакофарбових покриттів перебувати в бензині або оліві протягом певного часу при заданій температурі без видимих змін стану плівки: відшаровування, появи зморшок та бульбашок.

**Токсичність та вогнебезпечність.** Лакофарбові матеріали здебільшого є токсичними, вогнебезпечними та вибухонебезпечними речовинами.

Встановлено методики визначення стійкості покриттів до дії води, втрати блиску при вологому опроміненні, стійкості покриттів до змін від температури.

Зростання вимог до конструкції автомобілів за умов зниження енергетичних

витрат у виробництві та експлуатації призводить до інтенсифікації робіт, спрямованих на збільшення застосування пластмас. Роль останніх у автомобілебудуванні постійно зростає.

### **Матеріали для збереження та догляду за лакофарбовими покриттями**

До факторів руйнування лакофарбових покриттів відносяться вплив тепла, світла, кисню повітря, вологи та інших хімічних агентів. В атмосферних умовах покриття зазнає комплексного впливу багатьох факторів. Покриття також псується від вібрації, ударів та інших механічних пошкоджень.

На термостійкість покриття визначальний вплив чинить енергія хімічних зв'язків у полімері, з якого воно утворено.

Істотний вплив на старіння мають самі компоненти лакофарбового покриття – пігменти, пластифікатори та інші добавки.

Якщо пігменти є каталізаторами або ініціаторами хімічних процесів, то руйнування покриття прискорюється. За наявності пігментів, що характеризуються відбивними властивостями або виконують функції термостабілізаторів, процес руйнування сповільнюється.

Посилення деструкції у багатьох випадках викликається присутністю у плівці пластифікаторів і залишкових розчинників.

Вивітрювання, випотівання і вилуговування пластифікатора підвищує крихкість покриття, а випаровування залишків розчинників призводить до його усадки та розтріскування.

Сильну руйнівну дію на покриття мають ультрафіолетові промені сонячного світла. У присутності кисню повітря, а також при підвищенні температури деструкція різко прискорюється та ускладнюється: зменшується маса матеріалу плівки, утворюються різноманітні продукти окиснення.

***Під атмосферним старінням*** покриттів розуміють комплексний вплив сонячної радіації, вологи, кисню повітря, змінних температур тощо. Встановлено, що в атмосферних умовах лакофарбові покриття руйнуються у 50 разів швидше, ніж у приміщенні. При дії прямого сонячного світла втрати блиску покриттів у кілька разів більше, ніж при дії розсіяного.

Найбільшій руйнівній силі процес старіння досягає зі зростанням інтенсивності сонячної радіації, вологості повітря та швидкості вітру. Тому найшвидше блиск покриттів втрачається у весняно-літній період.

Особливо сильно впливає на лакофарбове покриття іонізуюче випромінювання, результатом дії якого є деструкція та зшивання молекулярних ланцюгів. Наприклад, поліізобутилен може перетворитися на рідину, якщо поглинена доза випромінювання була досить великою.

Зміна кольору – знебарвлення, потемніння, втрата глянцею, поява бульбашок, сітки тріщин та липкості, лущення – ознаки руйнування покриттів при впливі іонізуючих випромінювань.

Передчасне руйнування покриття відбувається, зокрема, через його забруднення, тому кузов автомобіля необхідно регулярно мити, уникаючи при цьому попадання твердих частинок пилу та бруду, які можуть подряпати плівку емалі.

***Швидке руйнування лакофарбового покриття викликає миття кузова гарячою водою.*** Швидке потьмарення та руйнування покриття відбувається також у

тому випадку, якщо для миття пофарбованої поверхні автомобіля застосовувати соду, пральні порошки та інші лужні розчини.

Наліт, що важко змивається водою, що утворюється в процесі експлуатації автомобіля, а також точкові плями коричневого кольору, що нагадують точки корозії, видаляють промиваючи кузов теплою мильною водою (50 г мильної стружки або нейтрального мила на одне відро води). Лакофарбове покриття можна періодично промивати водними розчинами спеціальних автошампунів.

Існує кілька видів захисту кузова автомобіля:

- *пасивний* – ізоляція поверхні від атмосферного впливу;
- *активний* – коли захисний засіб утворює на поверхні металу стійкий шар проти корозії;
- *перетворюючий* – переведення металу, що вже окислився, в плівку стійку проти впливу кисню, вологи і розчинних солей.

**До пасивних** засобів захисту відносяться мастики для захисту днища кузова. Від фарби мастика відрізняється тим, що вона готується на бітумній, каучуковій, смоляній основі, до її складу можуть входити графіт, волокнисті речовини, оливи. Мастику наносять на суху очищену поверхню густим шаром. Це забезпечує стійкість покриття до механічних впливів піску і гравію, що летять з під коліс; зниження шуму внаслідок амортизуючого впливу. Мастика захищає лише відкриті поверхні днища у щілини вона не потрапляє.

Пасивний захист марний, якщо попередньо поверхня не була очищена від бруду і води, бо в такому разі виникає електрохімічна корозія.

**З активних** препаратів захисту від корозії слід назвати "Мовіль", розроблений на основі американського препарату "Textile 309AW" фірми "Valvoline". "Мовіль" не тільки фізично ізолює поверхню металу від повітря і вологи, але завдяки інгібітору корозії, що міститься в ньому, веде активну боротьбу з початим іржавінням. Більше того він має великий поверхневий натяг, завдяки чому потрапляє у вузькі щілини і навіть здатний витіснити воду з поверхні.

**До перетворюючих** відносять складки, що перетворюють іржу в ґрунт. Їх готують на основі ортофосфорної кислоти. Ці препарати є ефективним засобом боротьби з корозією, що вже почалася. Поверхню покриту іржею, оброблену таким препаратом, можна фарбувати без додаткової обробки.

Один із прогресивних напрямів розвитку автомобільної хімії є так звана автокосметика. До препаратів автокосметики відносять – поліролі, автошампуні, засоби для видалення різних плям, для очищення скла та покриттів та ін. З кожним роком зростає кількість та якість різноманітних препаратів автокосметики.

Покриття, що втратило свій первісний вигляд, для відновлення блиску рекомендується періодично полірувати. Цей процес сприяє очищенню поверхні, видаленню дрібних невидимих оком тріщин, надає покриттю рівний і блискучий вигляд. Усе це оберігає його від подальшого руйнування.

**Для полірування** лакофарбових покриттів застосовують: полірувальну воду (суспензія м'яких абразивів зі сполучними матеріалами); воскові полірувальні пасти (наприклад, суміш воску, парафіну, гасу або скипидару, уайт-спіриту); рідкі полірувальні складки (наприклад, суміш білої сажі - окису алюмінію і воскомісткої емульсії); полірувальні пасти (суміш тонких абразивів, олив, господарського мила та роз-

чинника). Для видалення глибоких тріщин покриття спочатку обробляють шліфувальною пастою, що складається з твердого абразиву (наприклад, алундового порошку), парафіну та олії (наприклад, вазелінової), а потім уже полірують. Дефекти покриттів з мелаіноалкідних емалей усувають шліфувальною пастою, що є суспензією глинозему в суміші олій, розчинників і води. Шліфувальна паста дозволяє зняти шар покриттів, що має тріщини, завтовшки 15...20 мкм.

Механізм дії полірувальних складів або паст такий: абразивами виробляють шліфування та полірування, віск заповнює пори плівки та згладжує мікроскопічні нерівності, розчинники видаляють залишки жирових плям та інших забруднень.

Автополіролі утворюють на поверхні лакофарбового покриття міцну, блискучу, захисну плівку. Вони різняться в основному стійкістю та способом нанесення на поверхню. Автополіролі в аерозольній упаковці легше наносити і розтирати, ніж звичайні, витрачаються вони економніше, але ними треба обробляти автомобілі в 4-5 разів частіше. Вони зберігаються на поверхні кузова 2-3 тижні або до першого миття з шампунем. Консервуючий поліроль зберігає захисну плівку протягом 2-12 місяців.

До автокосметичних засобів належать також автошампуні. Автошампуні складаються з концентрованого розчину або гранулятів із суміші розчинних і миючих речовин, схильних до біорозкладання (екологічно чистіші). В даний час випускаються препарати, в яких з'єднані властивості шампуню та поліролю. Так як в автомобілі знаходиться велика кількість декоративно-оздоблювальних матеріалів, то для догляду за ними випускаються різноманітні засоби для чищення.

Випускаються засоби для очищення та миття лобового скла та оптики автомобіля. Препарати для скла автомобіля діляться на рідини, що використовуються в бачку омивача (низькозамерзаючі) і використовуються як захисні (водовідштовхувальні) покриття. Для запобігання запотівання та зледеніння скла автомобіля випускають препарати в аерозольній упаковці та у вигляді серветок.

Догляд та дбайливе ставлення до автомобіля можуть значно продовжити його життя.

## **8.2 ПЛАСТИЧНІ МАТЕРІАЛИ**

### **Призначення пластмас**

Удосконалення конструкції автомобіля пов'язане з постійним розширенням застосування різних видів пластмас як конструкційних матеріалів.

У автомобільній промисловості неухильно зростає обсяг застосування пластмас, як конструкційних матеріалів. Найбільше застосування знаходять різноманітні композиції поліетилену, поліпропілену, їх блок-сополімеру, а також поліамідів і пінополіуретани.

Пластичні маси відносяться до полімерних високомолекулярних синтетичних матеріалів. Їх можна зварювати, пресувати та прокочувати як метал. З них можна відливати деталі найскладнішої форми.

Найбільш швидкими темпами зростає застосування таких пластмас, як поліетилен, сополімер етилену з вінілацетатом, поліпропілен, поліамід, полікарбонат. Очікується різке зростання використання пластмас для виготовлення кузовних деталей.

Пластмаси використовують для виготовлення бамперів, у конструкціях дверей, багажників, капотів. Планується майже повний перехід до пластмасових паливних баків.

Застосування пластмас позначається на загальній масі автомобіля, а отже на зниженні навантаження на вісь, економії палива, тягово-динамічних показників та конкурентоспроможності. Дуже важливо і те, що пластмаси економлять дорогі та дефіцитні кольорові метали. Типовий приклад – заміна металевих трубопроводів гальмівних систем на поліамідні. В даний час продовжується впровадження пластмас на підприємстві КраЗ – організується виробництво багат шарових деталей внутрішньої оббивки салону кабін автомобілів, а також великогабаритних деталей зовнішнього поясу кабіни (бампер, облицювання, крила, підніжки та ін.).

Для виготовлення паливних баків автомобілів використовують композицію на основі поліетилену; для виготовлення брызговики та килимків – піддонів використовуються поліолефінові композиції. Панелі приладів, консоль, кожух кермової колонки, панель клавішних перемикачів, корпуси ліхтарів, плафонів та приладів виготовляють із композицій поліпропілену з мінеральними наповнювачами та різними підсилюючими модифікаторами.

До загальних позитивних техніко-економічних якостей пластичних мас відносяться такі:

- нижча вартість пластмасових виробів порівняно з вартістю виробів із металів або інших матеріалів;
- мала щільність, як правило, що не перевищує  $1500 \text{ кг/м}^3$  що приблизно в 5-8 разів нижче, ніж у сталі;
- високе відношення міцності до щільності, тобто значна питома об'ємна міцність;
- хороші електро-, тепло-і звукоізоляційні властивості;
- легка перероблюваність у виробі, що вказує на високу технологічність;
- висока стійкість до різних агресивних середовищ;
- можливість надання виражених антифрикційних або виражених фрикційних властивостей;
- гарні прозорість та здатність фарбуватись;
- стійкість до вібрацій.

В цілому застосування пластмас в автомобілебудуванні забезпечує:

- зниження матеріаломісткості конструкцій за рахунок застосування великогабаритних та інших деталей;
- підвищення безпеки за рахунок застосування напівжорстких, еластичних пінополіуретанів для сидінь, рульових коліс, підлокітників, стелі, панелей приладів, бамперів та інших деталей;
- підвищення довговічності за рахунок застосування покриттів деталей, звернених до полотна дороги, застосування крил, фартухів, бамперів та інших деталей із пластмас;
- скорочення трудомісткості за рахунок високої технологічної податливості пластмас при переробці їх у виробі.

Так, замінюючи чорні метали ливарними пластмасами, досягають зниження трудомісткості виготовлення деталей приблизно в 5-6 разів.

Характерною особливістю пластмас є те, що в залежності від використовуваних для їх виробництва компонентів, співвідношення цих компонентів та технологічного режиму можна отримати матеріали з яскраво вираженими властивостями.

Пластмасові покриття надають виробам гарний зовнішній вигляд, а також во-

ни надійно захищають метал від корозії, через яку щорічно виходить з ладу 8-10% всього виробленого в країнах СНД металу.

### Склад пластмас

**Пластмасами** називають такі матеріали, які містять як основний сполучний компонент полімер.

Пластмаси різноманітні за своїм складом. Загалом вони включають полімери, наповнювачі, пластифікатори, антистарителі та барвники. Залежно від типу пластмаси до її складу входять усі перелічені компоненти або лише деякі з них. Непоодинокі випадки, коли вироби виготовляють з одного лише полімеру і тоді поняття пластмаса і полімер стають тождественними.

**Полімер.** Полімер – це основний елемент пластмаси, що виконує роль сполучної речовини. Полімерні сполуки можуть бути синтетичними (поліетилен, фенолоформальдегідні смоли та ін.) та природними (натуральний каучук, целюлоза, смоли та ін.).

Характерною рисою як синтетичних, так і природних полімерів є пластичність, здатність матеріалу приймати форму, що надається йому під впливом тепла і тиску і стійко її зберігати.

Макромолекули з лінійною будовою утворюються під час реакції полімеризації, коли кілька однакових молекул з'єднуються разом без виділення побічних продуктів. У реакцію полімеризації можуть вступати як однакові мономерні, так і різні у кількості 2-3 і більше. Такі складні полімери називають кополімерами. Схеми будови зазначених різновидів полімерів показано на рисунку 8.3.



*A і B - різні ланки макромолекул*

Рисунок 8.3 – Схеми будови полімерів

Полімери за своїми властивостями поділяються на **термопластичні** (пластмаси на їх основі відносять до групи термопластів) і **терморективні** (пластмаси на їх основі відносять до групи терморективних). У деякі пластмаси входять одночасно терморективні та термопластичні полімери.

Для поліпшення властивостей пластмас у них вводять такі добавки – наповнювачі, антистарителі, барвники.

**Наповнювачі.** Наповнювачі служать для збільшення обсягу та покращення фізико-механічних та інших властивостей пластмас, а також для зменшення усадки при затвердінні пластмас, яка в деяких випадках досягає 10-20% за обсягом. Як наповнювачі застосовують деревне борошно, кварцовий або азбестовий порошок, очеси бавовни, скляні волокна. Для отримання особливо міцних пластмас як наповнювач використовують бавовняні та скляні тканини, папір або деревний шпон (тонкий

лист деревини). Такі пластмаси називають шаруватими пластиками.

**Пластифікатори.** Пластифікатори служать для зниження крихкості пластмас. До них відносяться рідини (дибутилфталат, діоктил-фталат та ін.) або низькоплавкі воскоподібні речовини, що добре поєднуються з полімерами. Крихкість пластмаси зменшується в результаті проникнення пластифікатора в міжланцюговий простір полімеру.

**Антистарителі.** Антистарителі (антиокислювачі) уповільнюють процес окислення пластмас у процесі їх застосування, особливо при підвищеній температурі та дії світла.

**Барвники.** Барвники служать для надання пластмас необхідного декоративного вигляду, а також для зменшення волого- та світлопоглинання.

Крім того, в пластмаси вводять стабілізатори, які зв'язують низькомолекулярні продукти розкладання полімерів; прискорювачі або уповільнювачі процесу затвердіння пластмас, а також змащувальні речовини, які запобігають прилипанню пластмас до стінок прес-форми.

Низька щільність пластмас дозволяє зменшити масу деталей, що виготовляються. Так як з підвищенням температури міцність пластмас знижується, часто пластмаси армують металом.

### Класифікація пластмас

Пластичні маси залежно від хімічної природи полімерів поділені на **чотири класи**.

**Клас А.** Пластичні маси на основі високомолекулярних сполук, одержуваних ланцюговою полімеризацією: поліетилен ВД, поліетилен НД, пропілен, вініпласт та пластикати на основі полівінілхлориду; поліізобутилен; фторопласти; полістирол та його кополімери; етинопласти (полівінілбутироль та ін.0), акрилопласти та ін.

**Клас Б.** Пластичні маси на основі полімерів, одержуваних поліконденсацією та ступінчастою полімеризацією: фенопласти з різними наповнювачами (прес-порошки, волокніти, текстоліти, скловолокніти, фаоліт та ін.); амінопласти; мелаліт; ефіропласти; поліаміди (капрон та ін); уретанопласти; епоксипласти та ін.

**Клас В.** Пластичні маси на основі хімічно модифікованих природних полімерів. До них відносяться пластичні маси на основі похідних целюлози (целулоїд, етроли), галаліт.

**Клас Г.** Пластичні маси на основі природних та нафтових асфальтів та смол: бітумопласти з різними наповнювачами. Крім цієї класифікації, пластмаси поділяються на дві основні групи – термореактивні та термопластичні та на підгрупи за фізико-механічними властивостями.

### Властивості пластмас

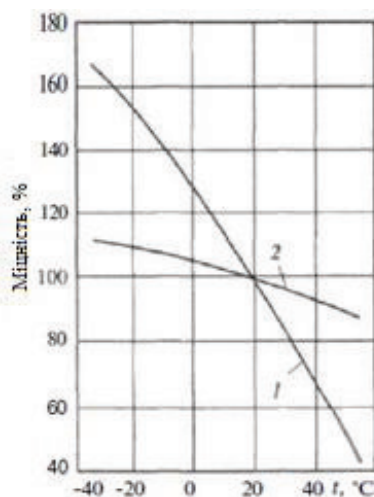
**Щільність.** Щільність більшості пластмас становить 900-2200 кг/м<sup>3</sup>. Невисока щільність є однією із переваг пластмас перед іншими матеріалами, що дозволяє зменшити масу виробу.

**Міцність.** На відміну від металів властивості міцності пластмас залежать від форми і розмірів виробу, від часу експлуатації. Характерною особливістю пластмас є їхня здатність змінювати розміри під постійним навантаженням.

Після тривалого впливу постійного навантаження знижується міцність пластмас. Внаслідок цього пластмаси не придатні там, де на них діють в процесі експлуа-

тації постійні (хоча і допущені) навантаження. У той же час пластмаси завдяки своїй еластичності краще, ніж метал, витримують змінні навантаження.

Робочий температурний інтервал у пластмас значно вужче, ніж у сталей. І вплив температури всередині цього інтервалу на розміри деталей та властивості міцності пластмас значно вищий (рис. 8.4).



1 - термопласти; 2 - реактопласти

Рисунок 8.4 – Залежність міцності пластмаси від температури

Величини меж міцності та модулів пружності у пластмас значно менше, ніж у сталей. Тому пластмаси не придатні там, де потрібна висока жорсткість виробів. Для підвищення жорсткості пластмасові деталі іноді армують металом.

У найбільш міцної пластмаси – склопластика, межа міцності при розтягуванні сягає  $70 \text{ кг/мм}^2$ .

**Теплостійкість.** Більшість пластмас можуть працювати в наступному інтервалі температур:

- термопласти від  $-50^\circ\text{C}$  до  $+80^\circ\text{C}$ ,
- реактопласти до  $+120^\circ\text{C}$ .

Пластмаси на основі кремнійорганічних полімерів та фторопласти працюють при температурах до  $+500^\circ\text{C}$ . Більшість пластмас при температурах  $250\text{-}350^\circ\text{C}$  піддається деструкції, тобто процесу розкладання полімеру на мономері та інші речовини (воду, вуглекислий газ, альдегіди тощо). Недостатня теплостійкість є головним недоліком пластмас як конструкційних матеріалів.

**Морозостійкість.** Морозостійкість демонструє характер зміни механічних властивостей пластмас в області негативних температур. Більшість пластмас при негативних температурах, особливо термопласти, втрачають свою пластичність, стають крихкими.

**Теплопровідність.** Пластмаси мають значно меншу теплопровідність, ніж метали, у яких вона в  $500\text{-}600$  разів вище.

**Оптичні характеристики.** Органічне скло, безбарвний, прозорий пластик, у порівнянні з силікатним склом особливо добре пропускає ультрафіолетові промені.

**Корозійна стійкість.** Як правило, пластичні маси на відміну від металів ма-

ють підвищену стійкість до впливу кислот, лугів, солей і розчинників.

**Діелектричні властивості.** Пластичні маси відносяться до діелектриків.

**Фрикційні властивості.** Шаруваті пластики (капрон) характеризуються низьким коефіцієнтом тертя та великою зносостійкістю, тому застосовуються у підшипниках та інших вузлах тертя. Пластики на базі фенольних смол з азбестовим наповнювачем – азбоволокніти, мають великий коефіцієнт тертя та застосовуються в гальмівних пристроях.

**Стійкість до атмосферних впливів.** Пластмаси змінюють свої властивості під впливом вологи, світла та води.

**Основною причиною старіння** пластмас є деструкція полімерів під дією сонячних променів і тепла, а також одночасно протікають процеси окислення полімерів. Відносна недовговічність пластмас є їх серйозним недоліком у порівнянні з металом і викликає необхідність проведення заходів, що запобігають старінню.

### Термопластичні пластмаси

Термопластичні полімерні сполуки при нагріванні набувають пластичності, при охолодженні повертаються у твердий стан, повторно та неодноразово плавляться без зміни властивостей матеріалу. До них відносяться всі пластмаси класу "А" та частково класу "Б" (полістирол, поліетилен, вінілпласт та ін.).

Термопластичні пластмаси (термопласти) одержують полімеризацією низькомолекулярних органічних речовин. Термопласти випускаються з наповнювачем та без наповнювача. Для поліпшення антифрикційних властивостей, підвищення теплопровідності, зносостійкості поліаміди і фторопласти вводять наповнювачі: графіт, мелений кокс, свинець, бронзу, дисульфід молібдену, скловолокно та ін.

Ненаповнені товарні термопласти бувають пластифіковані та неластифіковані. Різні синтетичні органічні та неорганічні речовини застосовуються як стабілізатори та протистарільники. Причому, кожен полімер стабілізується певними речовинами.

Більшість термопластів має високу ударну в'язкість, водостійкість і хороші діелектричні властивості і в той же час низьку теплостійкість і значну холоднотекучість. Тому багато термопластичних пластмас можуть бути використані при температурі не вище 60...80°C. Для деяких з цих пластмас вона може сягати 150...160 і навіть 250°C (наприклад, для фторопласту). Термопластичні пластмаси (особливо фторопласти) схильні до значної зміни лінійних розмірів та об'єму зі зміною температури.

Серед пластмас на основі термопластичних смол найбільш широке застосування в автомобілебудуванні отримали поліаміди, акрилопласти (поліметилметакрилат), полівінілхлорид (вінілпласти), фторопласти, поліетилен, полістирол, етроли (термопластичні ефіри целюлози).

**З поліамідів**, у тому числі **капрону** (полікапролактама), може виготовлятися велика кількість різноманітних автомобільних деталей: втулки (педалей, дверних петель, ресор та ін.), підшипники (дверей автобусів, педалей зчеплення та ін.), вкладиші, корпуси сальників, шестерні (приводу спідометра та ін.), манжети, склотримачі, патрони ламп, вимикачі та ін.

**З поліетилену ВД** виготовляють кришки, кнопки, освітлювальні плафони, трубки, прокладки та інші деталі, а також плівку, на основі якої отримують драпірувальні та оббивні тканини для сидінь та спинок.

**Полівінілхлорид** (вінілпласт) застосовують для виготовлення банок акумуля-

торних батарей, прокладок, ущільнювачів, внутрішньої обшивки кузова. Пластифікований полівінілхлорид використовується для отримання оббивних матеріалів шляхом нанесення плівки на бавовняну тканину, виготовлення трубок оливо- та паливопроводів та інших деталей.

**Фторопласти** використовують для деталей, що працюють у хімічних середовищах та при підвищеній температурі.

**З акрілопластів** виготовляють пілозахисні лінзи, внутрішні плафони, скла габаритних ліхтарів, шибки та інші деталі.

**З етолу** методом лиття під тиском виготовляють: щиток панелі для приладів, облицювання рульового колеса та інші профільні деталі.

### **Термореактивні пластмаси**

Термореактивні пластмаси (реактопласти) при повторному нагріванні внаслідок протікання незворотних хімічних реакцій перетворюються на тверді важкорозчинні та нерозм'якшувальні (неплавкі) речовини. Тому формування деталей з термореактивних пластмас має випереджати процес утворення самої пластмаси, тому що в іншому випадку воно буде ускладнене або неможливе. Термореактивні пластмаси одержують поліконденсацією низькотемпературних речовин при підвищеній температурі, що супроводжується відщепленням побічних продуктів (води, спирту та ін.).

Термореактивна смола перетворюється на термостабільний стан при температурі 160...200°C. З числа термореактивних смол найбільш часто застосовують як сполучні фенольно-формальдегідні, поліефірні, епоксидні, кремнійорганічні (полісилоксанові), меламіноформальдегідні та ін.

У знедоленому стані більшість термореактивних смол порівняно з термопластичними менше змінюють фізичні та механічні властивості при нагріванні, мають малу холоднотекучість, тобто повзучість під впливом постійно діючого навантаження.

До термореактивних пластмас відносять фенопласти, амінопласти, прескомпозиції на основі кремнійорганічних і поліефірних смол.

Фенопласти давно відомий і поширений вид пластичних мас. У чистому вигляді фенолоальдегідні пластики (литий резит) використовують дуже рідко через підвищену крихкість; їх посилюють наповнювачами, а також модифікують поєднанням із синтетичним каучуком та деякими термопластами. Класифікують фенопласти за наповнювачем.

При виготовленні автомобільних деталей із фенопластів найчастіше застосовують так звані шаруваті пластики: асботекстоліт, текстоліт, карболіт.

Накладки дисків зчеплення та гальм можуть бути виготовлені з **асботекстоліту з добавкою каоліну**.

**Зі спеціального текстоліту** виготовляють шестерні розподільного валу двигунів, опорні шайби крильчатки водяних насосів двигунів, опорні шайби розподільних валів та інші деталі.

**З карболіту** виготовляють кришку та ротор переривника-розподільника, ізолятори котушки запалювання та інші деталі.

В автомобілебудуванні **зі склопластиків** виготовляють кузова та інші великогабаритні та високонавантажені деталі.

На основі термопластичних і термореактивних смол виготовляють пінопласти та поропласти, що мають високу еластичність. Пінопласти, наприклад, пінополіуре-

тан ПУ-101 використовується для виготовлення автомобільних подушок та спинок.

*Пластичні маси використовують під час ремонту автомобілів. Для вирівнювання поверхні кузовів застосовують пластмаси у вигляді паст та порошків.*

**Епоксидні паст** застосовують для вирівнювання поверхні кузовів. Вони мають високу адгезію до металів, значною механічною міцністю, еластичністю, малою усадкою, хімічною стійкістю до нафтопродуктів, води, розчинів солей, лугів, кислот, деяких розчинників.

**Епоксидні смоли** використовують також як конструкційний, електроізоляційний матеріал і як сполучне при виготовленні склопластиків та прес-композицій. Вони застосовуються як клеї холодного і гарячого затвердіння, а також використовуються для протикорозійних і водостійких покриттів, що володіють гарною атмосферо- і світлостійкістю, замість зварювання при ремонті кузовів, тріщин на сорочці охолодження і в клапанній коробці блоку циліндрів, пробоїн (до 2 сорочки охолодження) блоку циліндрів, тріщин головки циліндрів, обломів у головці циліндрів у місці кріплення датчика та покажчика температури води, пробоїн до 70 мм у піддоні картера двигуна та ін. Відремонтовані деталі надійно працюють при температурі, що не перевищує 100...120°C.

**Пластмасові порошки** (ПФН-12 та ТПФ-37) застосовуються для вирівнювання поверхні кузовів та кабін шляхом газополум'яного напилення при температурі 210...220°C. Покриття з порошків ПФН-12 та ТПФ-37 стійкі до дії органічних кислот, олій, мають високу межу міцності на розрив.

**Поліамідні (капронові) порошки** використовують для одержання антифрикційних шарів підшипників ковзання. Капрон, особливо в поєднанні із загартованою сталлю, має виняткову зносостійкість і практично виключає знос сполученої деталі, він має незначний коефіцієнт тертя і тому частково допускає роботу без мастила. Капронове покриття захищає метал від корозії та дії лугів, слабких кислот, бензину, ацетону. Має низьку температурну стійкість – температура у вузлі тертя з капроном повинна бути від -30°C до +80°C. Більш жорстко обмежуються і питомий тиск, і швидкість ковзання.

**Поліамідну масу – капрон** використовують при ремонті автомобілів для виготовлення методом лиття під тиском декоративних і конструкційних деталей. Номенклатура виробів широка, назвемо втулки ресор, хрестовин карданного шарніра і шкворня поворотної цапфи; шестерню приводу спідометра, маслянки підшипника вимикання зчеплення, зливні краники, кнопки сигналу, рукоятки важеля перемикачів передач та ін.

### 8.3 КЛЕЮЧІ МАТЕРІАЛИ

**Клеями** називають рідкі або пастоподібні багатокомпонентні системи, основою (сполучною) яких є високомолекулярні речовини, що мають високу адгезію до твердих поверхонь.

Склеювання вже давно застосовується для з'єднання дерев'яних та гумових деталей. В останні роки створені клеї, що забезпечують надійне з'єднання тканинних матеріалів, пластмасових деталей та, нарешті, металевих деталей, а також металевих з неметалевими.

Клейові та клейозварні з'єднання деталей, як відомо, за кордоном давно вже

стали важливою складовою технології виготовлення автомобільної техніки, а також її ремонту. Зокрема, використовують для приклеювання вітрового скла, деяких панелей тощо.

Клейові з'єднання не тільки дуже технологічні, а й забезпечують високі споживчі якості автомобільної техніки. При склеюванні конструкція деталей або механізмів не послаблюється за рахунок отворів для болтів та заклепок і не обтяжується через додаткову вагу кріпильного матеріалу та накладок. У той же час міцність клейового шва найчастіше не поступається міцності механічних з'єднань.

Клейові сполуки не позбавлені *недоліків*. Багато з них мають низьку теплостійкість, а деякі з часом погіршують властивості внаслідок старіння клейового прошарку.

Процес склеювання зводиться в загальному вигляді до наступних операцій: підготовки склеюваних поверхонь, нанесення на них клею, спресування та затвердіння клейового шару.

*Основним показником якості клею* є механічна міцність клейового шва. Клейовий шов випробовують на розрив і сколювання та визначають питоме навантаження, при якому шов руйнується. Міцність клейової сполуки залежить від сил адгезії та когезії. Крім того, клей в рідкому стані повинен добре розтікатися і змочувати склеювані поверхні, а при затвердінні давати мінімальну усадку. Міцність затверденого клею повинна бути по можливості не менше міцності матеріалу поверхонь, що склеюються і не зменшуватися з плином часу і при зміні температури. Клейовий шар не повинен надавати корозійного впливу на поверхні, що склеюються, взаємодіяти з продуктами, з якими склеюваний виріб стикається при експлуатації, і руйнуватися під їх дією.

*За призначенням клеї поділяють* на універсальні та спеціальні. Універсальні клеї призначені для склеювання різнорідних твердих та еластичних матеріалів у різних поєднаннях: метал-метал, метал-дерево, метал-гума, пластмаса-скло тощо. Спеціальні клеї служать для склеювання певних матеріалів.

*Класифікаційною ознакою* клеїв є вид сполучного, відповідно до чого розрізняють клеї карбінольні, фенольні, епоксидні, поліамідні. Крім того, кожен тип клею у свою чергу поділяється на низку марок. У зв'язку з цим сучасний асортимент синтетичних клеїв є надзвичайно великим.

Основним видом універсальних клеїв є *синтетичні клеї*, що використовуються у всіх галузях техніки. За допомогою синтетичних клеїв можна створити високоміцні, еластичні, водо-, масло- та паливостійкі сполуки, що витримують вібрацію та динамічні навантаження. Синтетичний клей у найбільш загальному вигляді являє собою композицію, в яку входять: сполучна (або їх поєднання), розчинник, наповнювач, затверджувач та прискорювач затвердіння.

В якості *сполучного* використовуються термопластичні та термореактивні полімери (смоли). З термопластичних найбільшого поширення набули похідні акрилової та метакрилової кислот, полівінілацетату, поліізобутилену, каучуку та гуми, а з термореактивних – фенолоформальдегідні, епоксидні та кремнійорганічні сполуки. Клеї на основі термопластичних полімерів утворюють оборотну плівку, що розм'якшується при нагріванні.

Для надання певної *в'язкості* в клей вводять ацетон, спирт, бензинові суміші з

етилацетатом, бутилацетат з ацетоном або бензином, а також інші розчинники в залежності від марки клею.

Для зменшення *усадки* клею при затвердінні та запобігання появі тріщин і руйнування клейової плівки в клей додають порошкоподібні наповнювачі (метали, скло, фарфор, цемент, камінь та ін.).

**Затверджувач і прискорювач** затвердіння додають до клеїв, що містять термо-реактивні полімери, для протікання процесів, пов'язаних з утворенням клейової плівки.

Широке застосування набули клеї на основі епоксидних смол. Ці клеї затверджуються як при звичайних, так і при підвищених температурах, мають хороші фізико-механічні характеристики і високу адгезію до металів і багатьох неметалічних матеріалів. Їх характерна хороша водо-, оливо-бензостійкість. При ремонті використовують клеї ЕПО (ТУ 38-10972-82), ЕДП (ТУ 6-15-1070-82), епоксидну шпаклівку (ТУ 6-15-662-85) та ін.

При виробництві автомобілів застосовують епоксидний клей гарячого затвердіння УП-5-207 (ТУ 6-05-241-221-83). Клей має дуже хорошу властивість склеювати замавлені поверхні. Він застосовується для з'єднання внутрішньої та зовнішньої панелей дверей та проклеювання зафланцювань капота та багажника. Неотвержденный клей не вимивається миючими розчинами під час підготовки кузова під фарбування. Затвердіння клею відбувається у фарбувальних камерах. Крім того широко застосовують клеї бутваро – формальдегідний (БФ) та карбонільний.

Широке застосування знайшли клеї БФ-2, БФ-4 та БФ-6 (бутварофенолоальдегідні) – спиртові розчини термореактивної фенолформальдегідної смоли, модифікованої (для підвищення еластичності швів) бутваром. Перші два служать для з'єднання твердих матеріалів, а третій (БФ-6) - для склеювання тканин між собою та для прикріплення їх до металів, пластмас тощо. Усі клеї серії БФ поставляються споживачам у готовому вигляді. Клейову сполуку з них сушать при температурі 90-100°C протягом 1-3 год.

При ремонті автомобілів клей знайшов застосування для з'єднання фрикційних накладок з гальмівними колодками і непридатний для склеювання еластичних та гнучких матеріалів, таких як гуми, тканини і т.д.

Клей застосовується також під час ремонту пластмасових деталей. Деталі з термореактивних пластмас склеюються смоляними клеями (ВІАМ-Б-3, БФ-2, БФ-4, К-17 та ін.) на основі епоксидних фенолоформальдегідних та інших смол. Для склеювання органічного скла застосовується дихлоретан або клей, що являє собою розчин тирси органічного скла в мурашиній кислоті або дихлоретан.

Попри добре відомі переваги клейових з'єднань широкого застосування в автомобілебудуванні вони не отримали, особливо при виготовленні кузовів автомобілів. Основна причина – тривалість процесу затвердіння клейових швів, який не укладається в ритм конвеєрного складання. Автомобілі з конвеєра сходять за хвилини, а більшість найдосконаліших клеїв тверднуть протягом кількох годин, а деякі - протягом доби.

Однак становище вже почало змінюватися: з'явилися клеї нового покоління, здатні полімеризуватись за 3-30 с. Справа в тому, що до їх складу вводять спеціальні добавки – фотоініціатори, які за звичайних умов хімічної реакції не вступають, а при опроміненні світлом з певною довжиною хвилі, навпаки, стають потужними ка-

талізаторами. Таким чином, всі операції з нанесення клею і складання вузлів і агрегатів можуть виконуватися в тому ж, що і при склеюванні безклею, режимі.

До початку опромінення клей залишається у незатвердженному стані. Після цього шви, що утворюються при складанні протягом декількох секунд, піддаються ультрафіолетовому опроміненню.

За цей час фотоініціатори розщеплюються, переходять у вільні радикали, які ініціюють практично миттєву ланцюгову реакцію - полімеризацію опроміненої частини клею.

Але, на жаль, весь шов полімеризується тільки у разі з'єднань поверхонь типу "прозора на прозору". У разі ж "прозора на непрозору" – лише відкрита опромінення його частина. Тому в даний час клеї ультрафіолетового затвердіння застосовують найчастіше для кріплення скління автомобільного (силікатне скло прозоро в діапазоні 365-420 нм) і прозорих в діапазоні 420 нм пластмасових виробів. Використовувані при цьому клеї – акрилові.

Крім акрилових клеїв та герметиків з допоміжними системами полімеризації все ширше застосовуються такі ж анаеробні матеріали (які твердіють за відсутності контакту з киснем повітря). Їх застосовують для фіксації, стопоріння та герметизації різьбових та нерізьбових з'єднань.

Для автомобілебудування, як уже зазначалося, дуже важливою є освоєння клейової технології. Не випадково нею, зокрема, клеями (і взагалі адгезивами) з ультрафіолетовим затвердінням займаються багато фірм.

Найбільш відома з них – австрійська "Локтайт". Вона випускає більше сотні марок клеїв та герметиків різної хімічної природи, призначення (збирання двигуна, трансмісії, підвіски, рульового керування, гальм та кузовів легкових автомобілів) та систем полімеризації.

Клеї "Локтайт" мають низку унікальних властивостей. Зокрема, вони забезпечують клейовому шву 99% оптичну прозорість і регульоване (1,4-1,55) значення показника заломлення, що дозволяє використовувати їх для склеювання прозорих матеріалів і отримувати невидимий клейовий шов. Деякі (наприклад, анаеробний "Локтайт 661") можуть працювати в інтервалі робочих температур від -55 до 230°C, з межею міцності при зсуві 35 МПа (350 кгс/см<sup>2</sup>), при відриві 37-42 МПа (370-420 кгс/см<sup>2</sup>), часом схоплювання 3 с. Тому даний клей застосовують при встановленні підшипників у корпуси та на вали, для фіксації роторів, шестерень, зірочок і шківів на валах, для кріплення втулок, гільз, склянок у корпуси, герметизації заглушок на блоках двигунів та корпусах редукторів. Застосування такого клею дозволяє спростити конструкцію (за рахунок ліквідації шпонкових канавок та штифтів) та завдяки миттєвому його частковому затвердінню у багато разів прискорити процес збирання вузлів та агрегатів. Крім того, при монтажі підшипників, наприклад, шар адгезиву компенсує неточності центрування деталей вузла. Вали ж і підшипники, змонтовані без порушення центрування, але з натягом, служать довше, їх можна багаторазово використовувати після демонтажу та очищення.

Для полімеризації клеїв фірми "Локтайт" (для їх полімеризації) можна використовувати лампи ультрафіолетового випромінювання типу ДРТ-400 і спеціально розроблену установку, яка забезпечує не тільки регулювання інтенсивності випромінювання ламп, але й захист оператора від ультрафіолету.

Необхідно відзначити, що виробничники часто орієнтуються на закордонні клейові матеріали, в той час як є вітчизняні, які за своїми показниками нерідко перевершують їх і коштують значно дешевше. Так, одне з основних підприємств – ВАТ "Сніжинка" (колишній НІТХІБ) виготовляє безліч клеїв різного призначення. Деякі з них представлені нижче.

Клей 88КР (ТУ 201-951-10-96). Це модифікація в серії хлоропре-нових клеїв, що відрізняється від своїх попередників (88НП, 88СА) підвищеними міцністю, термостійкістю, швидкістю схоплювання, водостійкістю та стабільністю параметрів при тривалій експлуатації клейових швів.

Основа клею – поліхлоропрен. Розчиняється він у таких малотоксичних розчинниках, як бензин, етилацетат, гексан. Застосовується для склеювання гуми, гуми та металів (алюмінієвих сплавів та сплавів на основі заліза), металів між собою, синтетичних плівок, поліуретану, полівініл хлориду, шкірозамінників, шкіри, АБС-пластиків, шаруватих пластиків, ДСП, дерева, оббивних тканин тощо. буд. Тобто він є універсальним. Він вібростійкий повністю зберігає свою працездатність в діапазоні температур від  $-30$  до  $+90^{\circ}\text{C}$ . Технологія його застосування – найпростіша: шви виконують при кімнатній температурі та невеликому контактному тиску.

Найбільш раціональна область застосування даного клею - з'єднання та ремонт деталей внутрішнього оздоблення кабін вантажних автомобілів, салонів легкових автомобілів та автобусів.

Клей "УР-Моно" (ТУ 201-951-1-96) – універсальний поліуретановий клей, призначений для з'єднання шкіри, гуми, поліуретану, ПВХ, жорстких пластиків типу АБС, металів, ДСП. Він безбарвний, прозорий, однопакувальний, водо-, вібро-, морозо- та термостійкий, малотоксичний. Міцність при розшаруванні ПВХ шкіри перевищує  $50\text{ Н/см}$  ( $5\text{ кгс/см}$ ). Працює без введення ізоціанітних затверджувачів, що спрощує технологію його застосування.

Клей 75М (ТУ 201-28-72-96). Виготовляється на основі термоеластопластів (термін зберігання - один-півтора року). Поряд із такими підкладками, як шкіра, гума, поліуретан, дерево та метал, здатний склеювати поліетилен (жорсткий та плівковий), поліамід, ТЕП та інші полімерні матеріали без попередньої хімічної обробки. Характеристики міцності шва в  $1,5-2$  рази перевищують нормативні показники. Наприклад, міцність при розшаруванні сполук типу ТЕП-шкіра, шкіра-уретан перевищує  $50\text{ Н/см}$  ( $5\text{ кгс/см}$ ). Здатний до швидкого ( $10-15\text{ хв}$ ) склеювання, водо- та теплостійкий, малотоксичний.

Використовується при оздоблювальних та ремонтних роботах. Останнім часом його почали застосовувати як клеючу основу при нанесенні так званого флока на текстиль, пластики, метал, що дозволяє швидко отримувати бархатисту поверхню на цих матеріалах.

Клей "Ропід-5" (ТУ 201-196-90). Призначений для склеювання виробів зі шкіри, м'яких підкладок із текстильних матеріалів, гуми, пластшкіри. Складається з імпортного мерканторегульованого хлоропренового каучуку "Скайпрен", реакційних смол та оксидів металів. Є в'язкою ( $60-200\text{ с}$  по ВЗ-246) рідина біло-жовтого кольору.

Клей "Крол" (ТУ 201-28-78-83) – модифікований полістирольний клей для виробництва та ремонту виробів з удароміцного та блочного полістиролу. Забезпечує швидке протягом  $15-20\text{ хв}$  склеювання цих матеріалів при кімнатній температурі і

контактному тиску, велику довговічність швів. Гарантує відсутність мікротріщин, які, як відомо, неминучі при склеюванні полістиролу активними розчинниками. Вібро- та водостійкий, міцний (адгезійна міцність до полістирольних підкладок – до 14,8 МПа, або 148 кгс/см<sup>2</sup>), малотоксичний. Рекомендується застосовувати при кріпленні та ремонті деталей з полістиролу (корпусів магнітол, приймачів, деталей панелі приладів та ін.), а також внутрішніх (облицювальних) деталей кузовів-рефрижераторів.

Клейкий олівець ЕРК-1 (ТУ 201-28-18-96) являє собою складну епоксидну композицію, що клеїть, оформлену у вигляді твердого прутка, призначену для експрес-ремонтів (загортання) мікротріщин і виводів металу на трубопроводах і корпусах з різних металів і сплавів (алюмінію, міді, сталі, чавуну). Масло- бензо- вібро- та термостійкий.

**Клеї для гуми.** Клеї для приклеювання гуми поділяють на клеї для приклеювання з вулканізацією та для приклеювання "на холоді". Промисловість виробляє гумові клеї (для з'єднання гумових деталей один з одним) і спеціальні (для приклеювання гуми до металів, скла, пластмас та інших твердих матеріалів).

Зі спеціальних клеїв можна назвати два зразки: № 61 і 88Н. Перший готується розчиненням гумової суміші №61 у бензині "Калоша". Клей № 88Н є розчином у суміші етилацетату з бензином сирої гуми № 31-Н, до якої додана бутилфенолоформальдегідна смола.

Для приклеювання гумових деталей до металевих застосовують клей № 88, 88Н, 61 або термопреновий. Приклеювання гумових деталей до дерев'яних роблять за допомогою гумового клею НК.

Клей № 200 (розчин гумової суміші в бензині) застосовують для приклеювання до металу оббивки, гуми, картону та шкіри.

Через токсичність складових з ними слід звертатися обережно.

Модифікований гумовий клей (ТУ 2385-004-05281725-97) (випускає ВАТ "Сніжинка"), у якого міцність шва, що в 2 рази перевищує міцність, що забезпечується традиційними гумовими клеями, придатний для склеювання не тільки гуми, а й шкіри.

## **8.4 ГУМИ, ОББИВНІ, УЩІЛЬНЮВАЛЬНІ ТА ІЗОЛЯЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ**

### **Гуми**

Гума являє собою дорогий і до того ж дефіцитний матеріал, що широко застосовується в автомобілях. Це пневматичні і масивні шини, гнучкі шланги, амортизатори, приводні ремені, ущільнювальні прокладки, сальникові пристрої, муфти, транспортні стрічки та ін Широко використовується гума і в якості електричної ізоляції при виготовленні кабелів, проводів, електричних машин і приладів.

При ремонті автомобілів застосовують спеціальні сорти сирої гуми, з яких найважливішими є прошаркова протекторна та камерна. Всі вони призначені для ремонту пневматичних шин шляхом гарячої вулканізації.

Сучасний вантажний автомобіль включає від 200 і до 500 гумових деталей, на виготовлення яких витрачається 250-400 кг каучуку, що становить у перекладі на гуму порядку 500-800 кг. Вартість гумових виробів становить від 10 до 40% від загальної вартості автомобіля.

**Натуральний каучук.** Гума є складним за складом матеріалом, що включає кілька компонентів, основним з яких є каучук, від типу та особливостей якого залежать в основному властивості гуми.

Натуральний каучук (НК) одержують із так званих каучуконосів – рослин, переважно культивованих у країнах тропічного поясу. Причому здебільшого його добувають із чумацького соку (латексу) каучуконосного дерева – бразильської гевеї. Він не здатний розчинятися у воді, але розчинний у нафтопродуктах. На цьому ґрунтується приготування гумових клеїв.

У хімічному відношенні натуральний каучук - полімер ненасиченого вуглеводню ізопрену.

Великий ступінь ненасиченості молекули НК обумовлює досить високу здатність його до хімічних перетворень. Зокрема, за місцем розриву валентного зв'язку між третинним та четвертинним атомами вуглецю може приєднуватися сірка (процес вулканізації), кисень (старіння гуми) тощо.

**Синтетичні каучуки.** У 1932 р. вперше в нашій країні було синтезовано синтетичний каучук, який став основною сировиною для вітчизняної гумової промисловості.

Наразі випускаються десятки різновидів синтетичних каучуків (СК).

При виготовленні автомобільних гумових деталей широко застосовуються продукти спільної полімеризації різних мономерів. Найважливішому представнику з них - кополімеру бутадієну зі стиролом присвоєно позначення СКС (стирольний). Він належить до найпоширеніших СК (частка його у світовому виробництві всіх СК та ПК, узятих разом, сягає 30%). Найбільш масовий сорт СКС, що містить 30% стиrolу, має марку СКС-30. Гуми з його основи хоч і поступаються по еластичності, тепло- і морозостійкості гумам з НК, зате перевершують їх за зносостійкості.

Крім того, застосовують стирольні каучуки СКМС (бутадієн-метилстирольний). Пральні каучуки перевершують натуральні за зносостійкістю, але поступаються за еластичністю, тепло- та морозостійкістю. При виготовленні автомобільних шин використовують ізопреновий (СКІ-3), який за своїми властивостями близький до натурального каучуку, та бутадієновий (СКВ), що відрізняється високою зносостійкістю. Високою маслорезистентністю відрізняються хлорпреновий (наприт) та нітрильний (СКН) каучуки. З цих каучуків виготовляють деталі, що контактують із нафтопродуктами. Бутилкаучук (сополімер ізобутилену з ізопреном) використовують для виготовлення камер та герметизуючого шару безкамерних шин.

**Вулканізуючі речовини.** У чистому вигляді натуральний та синтетичний каучуки знаходять обмежене застосування (виготовлення клеїв, ізолювальної стрічки, медичного пластиру, прокладок ущільнювачів). З метою збільшення міцності каучуків застосовують процес вулканізації – хімічне зв'язування молекул каучуку з атомами сірки.

В результаті вулканізації, наприклад, ПК, яка йде найбільш ефективно при температурі 140-150°C, виходить вулканізований каучук (вулканізат) з міцністю на розрив близько 25 МПа.

До складу гуми вводять певну кількість сірки, щоб отримати виріб з якомога більшою міцністю та необхідною еластичністю. Наприклад, у гумах, що йдуть для виготовлення автомобільних камер і покришок, її міститься 1-3% від частки кау-

чуків, що є в них. Зі збільшенням вмісту сірки міцність гуми збільшується, але водночас зменшується її еластичність.

**Прискорювачі та наповнювачі.** Для прискорення процесу вулканізації до складу будь-якої суміші каучуку з вулканізуючою речовиною додаються прискорювачі (тіурам, каптакс та ін), а для підвищення міцності вулканізаторів активні наповнювачі (підсилювачі). Наймасовішим підсилювачем є сажа – порошкоподібний вуглець із розмірами частинок від 0,003 до 0,25 мкм. Сажа, як і інші підсилювачі, вводиться в сучасні гумові матеріали в значних дозах – від 20 до 70% по відношенню до каучуку, що міститься в них, підвищуючи міцність гуми більш ніж на порядок.

Крім названих добавок, до складу гуми в невеликих кількостях можна вводити барвники (для надання фарбування), пластифікатори (для полегшення формування), антиокислювачі (для уповільнення процесів старіння), пороутворювачі (при виготовленні пористих або губчастих гум) і т.д.

**Армування гумових виробів.** Для збільшення міцності деталей з гуми її поєднують з арматурою (дротяними каркасами, металевою обплетенням і т.д.). Міцність гумовотканинних виробів в основному визначається міцністю арматури, що вводиться в них. Еластичність таких виробів при розтягуванні порівняно з суто гумовими значно зменшується, але вона зберігається при згинанні та стиску цілком достатньою для того, щоб не відбувалося руйнування деталей. До найважливіших армованих гумових виробів, що застосовуються для автомобілів, відносяться: гумотканинні шланги, приводні ремені і т.д.

Особливо відповідальними та дорогими армованими виробами є автомобільні покришки, для виготовлення яких використовуються спеціальні тканини – корд, чефер та ін.

Одним з основних етапів технологічного процесу при приготуванні гуми є повне та рівномірне змішування всіх інгредієнтів у каучуку, число яких може доходити до 15. Цей процес виконується у гумозмішувачах у дві стадії. Перша стадія – виготовляється допоміжна суміш без сірки та прискорювачів; друга стадія - введення сірки та прискорювачів. Отримувані гумові суміші використовують для виготовлення гумових деталей і для гумування корда шин, які для посилення зв'язку між кордом і гумою просочуються латексами та смолами. Останньою операцією після змішування всіх інгредієнтів є вулканізація, після чого гумотехнічний виріб придатний для застосування. Сира гума (прошаркова, протекторна, камерна) застосовується при ремонті автомобільних шин і камер методом гарячої вулканізації під певним тиском, створюваним різними пристосуваннями.

Широке застосування гуми викликане тим, що вона має: здатність до виключно великих оборотних деформацій, які є одним із проявів високоеластичних властивостей матеріалу (відносне подовження при розтягуванні для високоякісних гум може досягати 100%);

– невелику жорсткість, порівняно з металом та деревом, тобто здатність сильно деформуватися під дією дуже малих сил, які в тисячі і десятки тисяч разів менше сил, що викликають такі ж деформації у металів;

– досить високу міцність (у кращих сортів гуми міцність при розриві досягає 40 МПа);

– слабку газопроникність та повну водонепроникність;

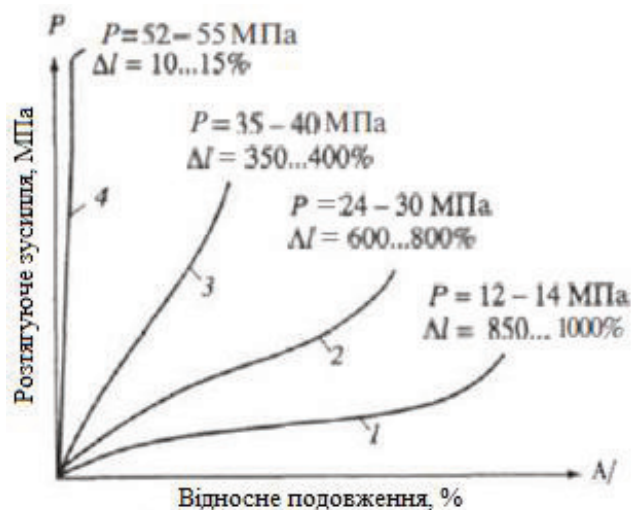
– високу діелектричну властивість.

**Міцні властивості** гумового матеріалу характеризуються межею міцності, що є напругою, що виникає в момент розриву. Для оцінки межі міцності визначають на спеціальній машині навантаження, коли відбувається розрив зразка гумотехнічного матеріалу строго певного розміру. **Межа міцності** – це число, що отримується при розподілі навантаження, при якому відбувся розрив зразка, на початкову (до випробувань) площу перерізу, що виражається в МПа.

**Механічні властивості** вулканізованої гуми характеризуються рядом показників, найважливіші з яких отримують при випробуванні на розтяг і на стиск. Суккупність відносного та залишкового подовжень характеризує еластичність гумового матеріалу. Чим більша різниця між першим і другим, тим краще еластичні властивості матеріалу. Величина еластичності встановлюється відповідно до призначення деталі та оцінюється величинами відносного та залишкового подовження при розриві та відносного стиску при граничному навантаженні, що виражаються у відсотках до початкової довжини зразка.

М'яка гума характеризується межею міцності – 15-20 МПа при відносному подовженні при розриві – 500-1000%. Так, наприклад, гума, що використовується для виготовлення камер автомобільних шин має межу міцності 9-14 МПа, відносне подовження 550-600%.

З підвищенням вмісту сірки у гумах міцність гуми на розрив збільшується, а еластичність знижується. На рис. 8.5 показано зміну межі міцності  $P$  (МПа) та відносного подовження (%) для різного виду гум.



1 - м'яка гума без інгредієнтів; 2 - м'яка гума з інгредієнтами; 3 - жорстка гума;  
4 - тверда гума (ебоніт).

Рисунок 8.5 – Залежність межі міцності ( $p$ ) та відносного подовження ( $\Delta l$ ) гуми при її розтягуванні

**Твердість гуми.** У технічних умовах на гуму, як і інші матеріали, передбачається визначення твердості. Для її оцінки найбільшого поширення набув твердомір ТМ-2 (Шора), мірою твердості яким служить глибина занурення притупленої у формі зрізаного конуса голки 1 (рис. 8.6), виражена в умовних поділах шкали приладу.

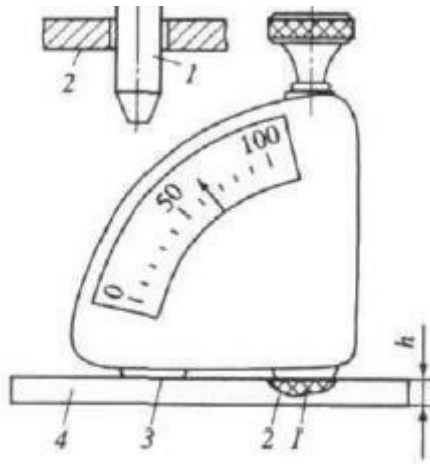


Рисунок 8.6 – Твердомір ТМ-2 (Шора)

При визначенні твердомір ТМ-2 потрібно притискати до зразка гуми з мінімальним зусиллям, але достатнім для того, щоб площадки 2 і 3 щільно прилягали до поверхні гуми 4. Визначення можливе тільки для зразків гуми з товщиною ( $h$ ) не менше 6 мм. (Твердість для протектора шин знаходиться в межах 55-65, а для прошаркової гуми, що використовується при ремонті -45.)

Надмірно висока твердість, що виходить за допустимі межі при повній впевненості у правильності вибору сорту сирової гуми, свідчить про порушення, яке називається перевулканізацією.

**Стійкість до стирання та коефіцієнт тертя гуми.** Показник зносостійкості, званий питомим показником стирання, виражають втратою обсягу випробуваного зразка, обчисленої по відношенню до одиниці роботи, витраченої на стирання.

За допомогою цього показника визначають ресурс роботи низки гумотехнічних виробів, зокрема шин. Значення цього показника для гуми, застосовуваної виготовлення покришок легкових і вантажних автомобілів, має перевищувати відповідно 0,08 і 0,14 мм<sup>3</sup>/Дж.

Зі зміною температури (рис. 8.7) дуже сильно змінюються властивості гуми, причому працездатність деталей з неї з різних причин зменшується як при нагріванні (рис. 8.8), так і при охолодженні. Основним несприятливим наслідком зниження температури є зменшення еластичності гуми, яка в міру охолодження наближається крихкістю до ебоніту. Вже при -45°C найбільш уживані сорти гуми не здатні деформуватися в необхідних межах.

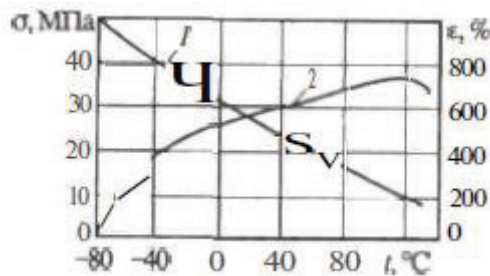


Рисунок 8.7 – Залежність межі міцності на розтягування  $\sigma$  (крива 1) та відносного подовження  $\varepsilon$  (крива 2) від температури  $t$  для гуми з натурального каучуку

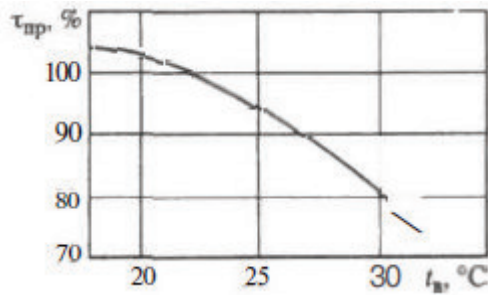


Рисунок 8.8 – Залежність величини пробігу шин  $\tau_{пр}$  від температури повітря  $t_v$ .

Інші важливі в експлуатаційному відношенні властивості гуми з підвищенням температури змінюються тільки в несприятливий бік – міцність, зносостійкість і твердість зменшуються, а подовження залишкове і взагалі здатність до незворотних деформацій збільшується.

Найважливішою реакцією, яка безперервно відбувається при зберіганні та експлуатації гумових виробів, є окислення гуми, що веде до зміни її хімічних, фізичних та механічних властивостей.

Сукупність всіх змін, що відбуваються у гумі у процесі тривалого окислення, прийнято називати її **старінням**. До розряду найбільш несприятливих змін, що виникають внаслідок старіння, відноситься незворотне зниження еластичності. До важливих експлуатаційних заходів належить захист гумових виробів від впливу сонячних променів, що викликають так зване світлове старіння.

**При дотику гумових виробів з водою** вона протягом тривалого часу не надає помітного впливу на властивості гуми. Найбільшу небезпеку вона становить для армованих деталей, металева арматура яка потрапляє у вологе середовище більше зазнає інтенсивної корозії, а бавовняна тканинна стає менш міцною і швидше загниває.

**Від тривалого контакту з нафтопродуктами** гумові вироби набагато збільшуються в обсязі, сильно зменшується міцність, еластичність і твердість. При тривалому контакті гум з бензином, дизельним паливом, мастилами може відбутися їхнє набухання, збільшення обсягу, зниження міцності, еластичності, твердості.

Дуже важливо правильно зберігати гумові вироби. Зберігання гумотехнічних виробів бажано по можливості при помірних температурах (+5...+25°C), оскільки підвищена температура впливає на зниження міцності на розрив в 2-3 рази.

Крім того, зберігати гумотехнічні вироби потрібно під дією якомога меншої напруги та деформації. Прикладом можуть бути шини, які необхідно зберігати у вертикальному положенні на стелажах з періодичною зміною (через 2-3 місяці) місця дотику протектора з поверхнею стелажу.

Повторне встановлення демонтованих деталей, що визначають безпеку автомобіля (гальмівні манжети, діафрагми) **не допускається**.

### **Оббивні матеріали**

Оббивні матеріали призначені для обробки (оббивки) сидінь та кузовів автомобілів. В результаті салони та кабіни стають комфортнішими, покращується їх тепло- та звукоізоляція. Тип матеріалів, що застосовуються для оббивки подушок та спинок сидінь, а також внутрішньої оббивки кабін та кузовів, впливає на вигляд автомобіля, його вартість, витрати на догляд за оббивкою під час експлуатації.

До основних вимог, яким повинні задовольняти оббивні матеріали, відносяться: міцність на розрив і опір стирання, красива декоративна обробка, тепло-і звуко-непроникність, довговічність, доступність і невисока вартість.

Механічна міцність, еластичність і зносостійкість - найважливіша вимога, що висувається до оббивних матеріалів. Це стосується в першу чергу матеріалів для оббивки подушок і спинок сидінь, оскільки вони піддаються механічному навантаженню і багаторазовим вигинам. Від міцності, еластичності та зносостійкості оббивки залежить термін її служби. Крім того, оббивні матеріали повинні легко очищатися від пилу та інших забруднень, а оббивка подушок та спинок сидінь легкових таксомоторів та автобусів має дозволяти обробку дезінфікуючими розчинами. У той же час оббивні матеріали повинні добре митися, не змінюючи зовнішнього вигляду оббивки.

Оббивні матеріали, що використовуються для виготовлення та ремонту кабін, можуть зазнавати впливу нафтопродуктів або їх пари. Тому ступінь стійкості оббивних матеріалів впливу нафтопродуктів також характеризує їх якість. Також важливо, щоб оббивні матеріали допускали можливість їхнього ремонту, у тому числі методом склеювання.

Як оббивку використовують різні текстильні матеріали, замітники шкіри, гуму та інші матеріали. Основне місце в оббивці кузовів займають текстильні тканини. До них відносять тканини, повсть, шнури, тасьму, бахрому тощо. Властивості текстильних матеріалів залежать від природи волокнистої сировини та її переробки, а також від структури та методу обробки готових матеріалів. Як оббивні матеріали застосовують різноманітні тканини, у тому числі і з нанесеними на їх поверхні полімерами, а також синтетичні плівки.

Все більше застосування отримали різноманітні комплексні матеріали як оббивний матеріал салону автомобіля. Для лицьового шару використовують різні матеріали: тканини, трикотажні полотна, штучне хутро, штучну шкіру. Комплексні матеріали можуть бути двошарові та тришарові. Двошарові комплексні матеріали виконують з лицьового (основного) шару та пінополіуретану. У тришарових комплексних матеріалів як лицьовий шар використовують тканину, трикотажне полотно; інші шари з поролону та підкладкового шару.

Комплексні матеріали розрізняють за способом дублювання, методом нанесення клейового складу та видом клею. Дубльовані матеріали складаються з різних за властивостями текстильних матеріалів у різних поєднаннях (рис. 8.9). Ці матеріали ділять на ламіновані та бондовані.

Ламіновані матеріали складаються із з'єднаних між собою полотна та пінополіуретану (рис. 8.9, гр. 1-а, в) або полотна з пінополіуретаном та ще одним полотном (рис. 8.9, гр. 1-б, г, д).

Бондовані матеріали – це матеріали, що складаються з двох полотен з'єднаних між собою виворотом один з одним без поролону. Як оббивний матеріал автомобілів найчастіше використовують комплексні оббивні матеріали, оброблені клейовим або термічним (вогневим) методами.

При клейовому методі дублювання на виворот основного (лицьового) шару матеріалу наносять тонкий шар клею (поліізобутиленового або поліпропіленового) і тільки після цього з'єднують з підкладковим матеріалом або поролоном.

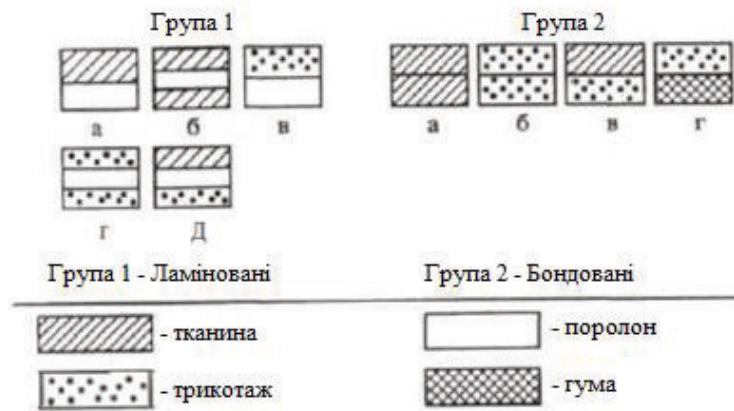


Рисунок 8.9 – Конструкція дубльованих матеріалів

Вогневий метод (метод термічного оплавлення поролону полягає в тому, що поверхня поролону розплавляється в полум'ї газового пальника і одразу ж дублюється з матеріалом з однієї або двох сторін.

В даний час розроблена велика гамма оббивних текстильних матеріалів з покращеними гігієнічними характеристиками, різноманітною гамою стилів - ворсових, об'ємних, не тільки однотонних, але частіше - малюнчастих. Широко застосовують капровелюр - текстильний дубльований матеріал, що складається з трьох шарів; лицьовий - ворсований основов'язаний трикотаж (одержуваний з поліамідної нитки), другий шар - пінополіуретан, шар підкладки основов'язане трикотажне полотно з поліамідної нитки. Дублювання шарів провадиться вогневим методом. Поверхнева густина матеріалу - 420-480 г/м<sup>2</sup>. Оббивка такого типу створює комфорт у салоні автомобіля, так як такий матеріал має гарну повітропроникність, об'ємність, м'який гриф. До недоліків капровелюру відноситься - швидке старіння, низька стійкість забарвлення, руйнування пінополіуретану та ін.

Як оббивний матеріал останнім часом використовується комплексний текстильний матеріал типу "твід". В цьому випадку в якості лицьового шару застосовується ткане полотно дрібноузорчастого переплетення з текстурованих поліефірних ниток; як проміжний шар - трикотажне основов'язане полотно з поліамідних ниток. Метод дублювання вогневої. Поверхнева густина матеріалу 430-530 г/м<sup>2</sup>. Цей матеріал має задовільні гігієнічні та експлуатаційні властивості. Недоліком твіду є виділення шкідливих для людини речовин при вогневому методі дублювання; можлива деградація пінополіуретану під впливом умов навколишнього середовища та ін.

Як оббивний матеріал застосовується текстильний синтетичний матеріал - оксамит. Оксамит має гарний зовнішній вигляд, об'ємність, м'який гриф, добрі гігієнічні властивості. Основними недоліками оксамиту, як оббивного матеріалу, є знижена стійкість ворсу до стирання; заміни ворсу під час експлуатації; спрямованість ворсу, що ускладнює розкрій матеріалу; вплив на людину шкідливих речовин, що виділяються за вогневого методу дублювання; підвищена здатність пінополіуретану до руйнування; матеріал дорогий.

Основні завдання, які стоять перед дизайнерами, технологами та конструкторами щодо підвищення якості оббивних матеріалів це:

- отримання екологічно чистого матеріалу;

- поліпшення технологічних властивостей при переробці тек-стильного ма-теріалу для оббивки сидінь;
- зниження вартості матеріалу.

Всі ці завдання будуть вирішуватися шляхом створення нових типів текстиль-них матеріалів, що володіють покращеними експлуатаційними, екологічними та технологічними властивостями.

### Ущільнювальні матеріали

При збиранні автомобільних вузлів виникає необхідність герметизації місць зіткнення деяких деталей один з одним.

**Набивні матеріали** застосовують для ущільнення зазорів між рухомими час-тинами для запобігання просочування та витоків газу та рідини, а також захисту внутрішніх частин агрегатів та механізмів від пилу, вологи та бруду. Розрізняють ущільнення для обертального та зворотно-поступального руху; у першому випадку застосовують сальники, а в другому - манжети та сальники.

Ці матеріали повинні мати високу міцність, необхідну пружність і в той же час невелику жорсткість, що забезпечує збереження при монтажі і демонтажі виробів з ущільнювальних матеріалів і щільне прилягання їх навіть до сильно шорстких по-верхонь при порівняно невеликих тисках. Крім того, деякі з таких матеріалів повин-ні бути стійкими при високих температурах, при контакті з нафтопродуктами, во-дою і т.д. Матеріали, що йдуть на виготовлення сальників, додатково повинні бути зносостійкими. Найчастіше прокладки виготовляються з паперу, картону, пергамен-ту прокладки, фібри, пробки, азбесту, повсті, гуми.

До найбільш поширених **прокладних матеріалів** відносяться пробка, різні ви-ди хімічно обробленого паперу (пергамент, картон, фібра, гранична робоча темпера-тура яких дорівнює 150°C), повсть (нагрів не вище 75°C), азбест (працездатний до 350°C), різні марки паронітів (листи з вальцованих вулканізованих сумішей азбесту, каучуків і наповнювачів, що допускають нагрівання до 150°C), маслобензостійкий пароніт МБП-5 (забезпечує надійне ущільнення до 250°C), ферроніт 101 (армова-ний0 ) та ін. Останнім часом стали застосовувати як прокладки в кузовах авто-мобілів нові синтетичні матеріали (наприклад, пінополіетилен ППЕ-2); неткані ма-теріали із луб'яних волокон (800Л, 920Р, 1200ЛР) тощо.

При виготовленні сальникових ущільнень використовуються як по-одному, так і в поєднанні один з одним метали, гума, пластмаси, тканини, волокна та повсть.

**Металеві матеріали** виготовляють з антифрикційних сплавів у вигляді пла-стин, фольги або дроту.

**Поліметалічні матеріали** виготовляють з азбесту, джуту або парусини як м'яку середину, яка обмотується фольгою або обплітається дротом.

**Прогумовані матеріали** отримують з азбестової тканини або парусини, про-соченої сировою гумою та провулканізованої. Волокнисті матеріали являють собою набивання з азбесту, джуту, пеньки, повсті тощо, просочену сполучними речовина-ми. Особливо широко застосовують повстяні ущільнення.

### Ізоляційні матеріали

До ізоляційних матеріалів відносять матеріали, що практично не проводять електричний струм. Вони використовуються як ізоляція при виробництві та ремонті автотракторного електроустаткування.

До них пред'являються такі вимоги: стійкість до вологи, достатня механічна міцність, висока теплостійкість (до деяких матеріалів).

Як ізоляційні матеріали застосовують слюду, ізоляційний папір, пресшпан, ізоляційну стрічку, азбест, ебоніт, фібру, карболіт, текстоліт, бакеліт та ізоляційні лаки.

**Слюда** є тугоплавким шаруватим мінералом, що легко розщеплюється на тонкі прозорі листочки. Це діелектрик, який витримує нагрівання до 500°C. Слюда має високі електроізоляційні властивості і застосовується як діелектрик в конденсаторах, колекторах електрогенераторів і стартерів, в електронагрівальних приладах. Тонкі листочки слюди, склеєні під гарячим пресуванням, називають міканітом і використовують як ізоляційний матеріал між колекторними пластинками генератора, стартера та інших електромашин.

**Ізоляційні стрічки** – це смужки тканини, покриті з обох сторін гумовим клеєм, або полівінілхлоридні стрічки, промазані з одного боку клейким складом.

**Ізоляційний папір** виготовляють із деревної маси обробкою содою та сульфатом натрію.

**Пресшпан** випускається у вигляді листів твердого картону. Його отримують з паперової маси, просоченої льняною олією. Він використовується для ізоляції в електричних машинах.

**Ізоляційні лаки** являють собою суміш асфальту або бітуму, олії, органічного розчинника і сикативу. Їх застосовують для ізоляції обмоток полюсних котушок генераторів та стартерів, а також для захисту електродеталей від вологи та нафтопродуктів.

## 8.5 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Яке призначення мають лакофарбові матеріали та які вимоги пред'являються до лакофарбових покриттів?
2. З яких компонентів складається лакофарбове покриття?
3. Які лакофарбові матеріали використовуються під час ремонтного фарбування?
4. Як здійснюється захист кузова автомобіля від корозії?
5. Яке призначення мають пластичні матеріали, що використовуються в автомобілебудуванні?
6. Які матеріали називають пластмасами та які компоненти входять до їх складу?
7. Як класифікуються пластмаси?
8. Які пластмаси знайшли найбільше застосування у конструкції автомобілів?
9. Яку систему називають клеями?
10. Як підрозділяють клеї?
11. Які клеї набули найбільшого застосування в автомобілебудуванні?
12. З яких компонентів складається гума?
13. Яка технологія отримання гум?
14. Якими основними властивостями має гума?
15. Які матеріали використовуються при оббивці салонів автомобіля?
16. Які матеріали застосовують як ущільнювальні?
17. Що застосовують як ізоляцію при виробництві та ремонті електроустаткування?

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Колосюк Д.С. Експлуатаційні матеріали: підручник. 2-е видання, доповнене./ Д.С. Колосюк, Д.В. Зеркалов. – К.: Арістей, 2005. – 241 с.
2. Експлуатаційні матеріали: лабораторний практикум/ Волков В.П., Мармут І.А., Наглюк І.С. та інші (всього 7 осіб) за ред. Волкова В.П. – Х.: ХНАДУ, 2016.– 64 с.
3. Автомобільні палива: бензини та дизельні. Асортимент та застосування. Довідник/ А.К. Караулов, Н.Н. Худолій. – К.: «Журнал Радуга», 1999. – 214 с.
4. Автомобільні оливи. Моторні та трансмісійні. Асортимент та застосування. Довідник / А.К. Караулов, Н.Н. Худолій. – К.: «Журнал Радуга», 2001. – 437 с.
5. Автомобільні експлуатаційні матеріали. Паливно-мастильні матеріали та спеціальні рідини / М. К. Сукач та інші. – К.: Університет Україна, 2006. – 256 с.
6. Полянський С.К., Коваленко В.М. Експлуатаційні матеріали: Підручник. К.: Либідь, 2003. - 448с.
7. Полянський С.К. Експлуатаційні матеріали для автомобілів і будівельно-дорожніх машин (укр.) Підручник./ С.К. Полянський, В.М. Коваленко. – К.: Либідь, 2005. – 504 с. Режим доступу: <https://www.twirpx.com/file/1533456/>
8. Паливо-мастильні матеріали, технічні рідини та системи їх забезпечення. К / Упор. В.Я. Чабанний. – Кіровоград: Центрально-Українське видавництво, 2008. – 353с.  
Режим доступу: [http://library.kr.ua/elib/chabannyi/Chabannyi\\_Pal\\_mast\\_Mater\\_kn1.pdf](http://library.kr.ua/elib/chabannyi/Chabannyi_Pal_mast_Mater_kn1.pdf)
9. Клендій В.М. "Експлуатаційні матеріали": конспект лекцій /укл.: В.М. Клендій, О.Л. Ляшук, А.Б. Гупка. – Тернопіль: ТНТУ, 2016. – 31 с.
10. Сасов О.О. Конспект лекцій з дисципліни «Експлуатаційні матеріали для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» / укл.: О.О. Сасов. - Кам'янське: ДДТУ, 2018. – 81с.
11. ДСТУ ГОСТ 17479.1:2019 Оливи моторні. Класифікація та позначення (ГОСТ 17479.1-2015, IDT).
12. ДСТУ 9032:2020 Нафтопродукти. Оливи моторні. Загальні технічні вимоги.
13. ДСТУ 8704:2017 Бензини автомобільні довготривалого зберігання. Технічні умови.
14. ДСТУ 7687:2015 Бензини автомобільні Євро. Технічні умови.
15. ДСТУ 7688:2015 Паливо дизельне Євро. Технічні умови.