

**Міністерство освіти і науки України  
Кіровоградський національний технічний університет**

**Паливо-мастильні матеріали,  
технічні рідини та системи їх  
забезпечення**

***КНИГА 1  
ПАЛИВО-МАСТИЛЬНІ МАТЕРІАЛИ І ТЕХНІЧНІ  
РІДИНИ***

2-ге видання, перероблене та доповнене

*За редакцією В.Я. Чабанного*

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України як  
навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів

КП “Центрально-Українське видавництво”  
Кіровоград 2008

**УДК 656.13:621,892**  
**ББК 39.33-082.32я7**

*Видано до 80-річчя*  
*Кіровоградського національного*  
*технічного університету*

Паливо-мастильні матеріали, технічні рідини та системи їх забезпечення.  
К / Упор. В.Я.Чабанний. – Кіровоград: Центрально-Українське видавництво,  
2008. – 353с.

Автори: **Чабанний В.Я.**, канд. техн. наук, доцент; **Магопець С.О.**, канд. техн. наук, доцент; **Мажейка О.Й.**, канд. техн. наук, доцент; **Осипов І.М.**, канд. техн. наук, доцент; **Солових Є.К.**, канд. техн. наук, професор; **Аулін В.В.**, кандидат технічних наук, професор; **Павлюк-Мороз В.А.**, доцент; **Попов Г.А.**, ст. викладач (Кіровоградський національний технічний університет).

Затверджено Міністерством освіти і науки України (лист №14/18.2-2220 від 13.10.2005 р.).

Рецензенти:

**Е.К. Посвятенко**, доктор технічних наук, професор кафедри “Виробництва, ремонту та матеріалознавства” Національного транспортного університету;

**М.В. Молодик**, доктор технічних наук, професор, заст. директора національного наукового центру (Інститут механізації і електрифікації сільського господарства).

**І.І. Павленко**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри “Технологія машинобудування” Кіровоградського національного технічного університету.

У навчальному посібнику викладені відомості: про одержання рідких і газоподібних палив та мастильних матеріалів з нафти та з нафтової сировини; про основні фізико-хімічні властивості палив, мастильних матеріалів та технічних рідин. Основна увага приділяється технологічним процесам горіння всіх видів палива; вимогам до палив і мастильних матеріалів; теоретичним і практичним навикам використання палива, мастильних матеріалів та технічних рідин. Розглянуті системи забезпечення автотранспортної техніки паливо-мастильними матеріалами.

Навчальний посібник призначений для студентів вищих технічних навчальних закладів III-IV рівнів акредитації відповідно до програми “Паливо-мастильні та інші експлуатаційні матеріали”. Може бути корисним для інженерно-технічних працівників, які займаються питанням експлуатації машин та використанням палива, мастильних матеріалів і технічних рідин.

**ISBN 978-966-96904-6-3**

**УДК 656.13:621,892**  
**ББК 39.33-082.32я7**

© Чабанний В.Я., Магопець С.О., Мажейка О.Й., Осипов І.М.,  
Солових Є.К., Аулін В.В., Павлюк-Мороз В.А., Попов Г.А. 2008.  
© Центрально-Українське видавництво, 2007.

# ЗМІСТ

|                        |   |
|------------------------|---|
| <b>ПЕРЕДМОВА</b> ..... | 6 |
|------------------------|---|

## **РОЗДІЛ I.**

|   |     |
|---|-----|
| <b>1. ВИДИ ПАЛИВ, ЇХ ВЛАСТИВОСТІ І ПРОЦЕСИ ГОРІННЯ</b> .....  | 10  |
| 1.1. Загальна характеристика палива. Класифікація.....  | 10  |
| 1.2. Склад палива.....  | 12  |
| 1.3. Теплота згоряння палива.....   | 15  |
| 1.4. Тверде паливо.....   | 18  |
| 1.5. Рідке паливо.....  | 21  |
| 1.6. Газоподібне паливо.....  | 25  |
| 1.7. Основи теорії горіння палива.....  | 26  |
| 1.8. Технологічний процес горіння палива.....   | 29  |
| <b>2. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ОДЕРЖАННЯ РІДКИХ ПАЛИВ І МАСЕЛ</b> .....                                   | 33  |
| 2.1. Загальні поняття про нафту.....  | 33  |
| 2.2. Основні способи одержання палив і масел з нафти.....   | 42  |
| 2.3. Короткі відомості про одержання палив і масел з ненафтової сировини.....                           | 49  |
| 2.4. Способи очищення палив.....  | 58  |
| 2.5. Способи очищення масел.....  | 60  |
| 2.6. Загальні показники фізико-хімічних і експлуатаційних властивостей нафтопродуктів.....              | 61  |
| <b>3. ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА ВИКОРИСТАННЯ ПАЛИВ ДЛЯ ДВИГУНІВ З ПРИМУСОВИМ ЗАПАЛЮВАННЯМ</b> ..... | 74  |
| 3.1. Умови застосування і основні вимоги до бензинів .....  | 74  |
| 3.2. Сумішоутворюючі властивості бензинів.....  | 75  |
| 3.3. Нормальне і детонаційне згорання бензину.....  | 80  |
| 3.4. Вплив конструктивних і експлуатаційних факторів і хімічного складу палива на процес згоряння.....  | 86  |
| 3.5. Оцінка детонаційної стійкості палива і антидетонатори.....   | 91  |
| 3.6. Стабільність і схильність бензинів до відкладень.....  | 99  |
| 3.7. Корозійні властивості бензинів .....   | 106 |
| 3.8. Асортимент бензинів і область їх використання.....   | 109 |
| 3.9. Закордонні класифікації автомобільних бензинів.....  | 111 |
| <b>4. ПАЛИВА ДЛЯ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ</b> .....   | 115 |
| 4.1. Умови застосування і основні вимоги до дизельних палив.....  | 115 |

|   |            |
|---|------------|
| 4.2. Умови згорання палива та забезпечення м'якої роботи двигуна.....             | 117        |
| 4.3. Прокачувальна здатність і сумішоутворюючі властивості дизельних палив.....   | 123        |
| 4.4. Оцінка самозаймистості і цетанове число палива.....                          | 128        |
| 4.5. Нагароутворюючі і корозійні властивості палива.....                          | 133        |
| 4.6. Асортимент палив для дизельних двигунів та область їх застосування.....      | 138        |
| 4.7. Закордонні класифікації дизельних палив.....                                 | 144        |
| <b>5. ГАЗОПОДІБНЕ ПАЛИВО.....</b>   | <b>149</b> |
| 5.1. Загальні відомості. Класифікація.....  | 149        |
| 5.2. Характеристика і асортимент газоподібного палива.....                        | 152        |
| 5.3. Застосування газоподібного палива у ДВЗ.....                                 | 156        |
| 5.4. Суть процесу газифікації. Використання генераторного газу.....               | 160        |
| 5.5. Особливості одержання і використання біогазу.....                            | 163        |
| 5.6. Особливості застосування газоподібного палива в сільському господарстві..... | 172        |
| 5.7. Закордонні класифікації газоподібних палив.....                              | 173        |

## РОЗДІЛ II

|  |            |
|--|------------|
| <b>1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО МАСТИЛЬНІ МАТЕРІАЛИ.....</b>                | <b>177</b> |
| 1.1. Роль мастильних матеріалів у використанні машин.....                | 177        |
| 1.2. Аспекти проблеми поняття про тертя і його види.....                 | 178        |
| 1.3. Призначення мастильних матеріалів та пред'явлені до них вимоги..... | 185        |
| 1.4. Класифікація мастильних матеріалів.....                             | 187        |
| <b>2. МАСТИЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ТА ЇХ ВЛАСТИВОСТІ.....</b>                     | <b>190</b> |
| 2.1. Базові масла і способи їх отримання.....                            | 190        |
| 2.2. Функціональні добавки до масел.....                                 | 199        |
| 2.3. В'язкість і в'язкісно-температурні властивості масел.....           | 209        |
| 2.4. Хімічна стабільність та миючі властивості масел.....                | 211        |
| 2.5. Низькотемпературні властивості масел.....                           | 220        |
| 2.6. Протикорозійні властивості.....                                     | 225        |
| 2.7. Вплив вмісту води та механічних домішок на якість масла.....        | 226        |
| 2.8. Протизносні та протизадирні присадки.....                           | 228        |
| 2.9. Випаровуваність масел.....  | 230        |
| <b>3. МОТОРНІ МАСЛА.....</b>   | <b>233</b> |
| 3.1. Вимоги, що пред'являються до моторних масел.....                    | 233        |
| 3.2. Склад і умови роботи моторних масел.....                            | 235        |
| 3.3. Класифікація та асортимент моторних масел.....                      | 237        |

|   |            |
|---|------------|
| 3.4. Взаємозамінність масел.....                                  | 250        |
| 3.5. Спрацьованість та зміна масел.....                           | 253        |
| <b>4. ТРАНСМІСІЙНІ МАСЛА.....</b>                                 | <b>260</b> |
| 4.1. Умови роботи та вимоги до трансмісійних масел.....           | 260        |
| 4.2. Основні властивості трансмісійних масел.....                 | 262        |
| 4.3. Класифікація та асортимент трансмісійних масел.....          | 265        |
| 4.4. Масла для гідромеханічних передач.....                       | 271        |
| 4.5. Закордонні трансмісійні масла.....                           | 273        |
| <b>5. МАСЛА ДЛЯ ГІДРАВЛІЧНИХ СИСТЕМ .....</b>                     | <b>278</b> |
| 5.1. Загальні відомості і властивості.....                        | 278        |
| 5.2. Класифікація і асортимент масел для гідравлічних систем..... | 280        |
| <b>6. ПЛАСТИЧНІ МАСТИЛЬНІ МАТЕРІАЛИ.....</b>                      | <b>285</b> |
| 6.1. Склад, призначення та вимоги до пластичних матеріалів.....   | 285        |
| 6.2. Методи оцінки основних показників та властивостей масел..... | 289        |
| 6.3. Асортимент мастил.....                                       | 297        |
| <b>7. МАСЛА ІНШОГО ПРИЗНАЧЕННЯ.....</b>                           | <b>305</b> |
| 7.1. Індустріальні масла.....                                     | 305        |
| 7.2. Турбінні масла.....  | 311        |
| 7.3. Обкаточні масла.....   | 313        |
| 7.4. Компресорні масла.....                                       | 315        |
| 7.5. Масла для компресорів холодильних установок.....             | 317        |
| 7.6. Електроізоляційні масла.....                                 | 320        |
| 7.7. Консерваційні масла.....                                     | 322        |

## **РОЗДІЛ III**

|  |            |
|--|------------|
| <b>1. РІДИНИ ДЛЯ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ ДВИГУНІВ.....</b>            | <b>329</b> |
| 1.1. Призначення та основні вимоги до охолоджувальних рідин..... | 329        |
| 1.2. Використання води у якості охолоджувальної рідини.....      | 330        |
| 1.3. Низькозамерзаючі охолоджувальні рідини.....                 | 335        |
| <b>2. РІДИНИ ІНШОГО ПРИЗНАЧЕННЯ.....</b>                         | <b>339</b> |
| 2.1. Гальмівні рідини.....                                       | 339        |
| 2.2. Амортизаторні рідини.....                                   | 343        |
| <b>3. СПЕЦІАЛЬНІ ТЕХНІЧНІ РІДИНИ.....</b>                        | <b>345</b> |
| 3.1. Пускові рідини.....   | 345        |
| 3.2. Скломиючі рідини.....                                       | 347        |
| 3.3. Мийні засоби.....   | 348        |
| 3.4. Рідини для видалення нагару з деталей двигуна.....          | 348        |
| <br>Список використаної літератури.....                          | <br>383    |

## ПЕРЕДМОВА

Нафта і продукти її переробки є основними енергоносіями практично у всіх галузях промислового виробництва і сільськогосподарства. У теперішній час видобуток власної нафти в Україні становить 12...15% від загальної потреби. Ту частину, якої не вистачає, закупають за кордоном, де ціни визначаються кон'юктурною світовою ринку нафтопродуктів. Останнім часом вони сягнули рекордної позначки, але стійкої тенденції до її зниження не спостерігається. Ера дешевих нафтопродуктів відійшла у минуле.

З розширенням парку автомобільної і сільськогосподарської техніки, підвищенням її технічного рівня збільшується попит на більш широкий асортимент нафтопродуктів і підвищуються вимоги до їхньої якості. За останні роки накопичений науковий досвід у виробництві та використанні паливо-мастильних матеріалів, суттєво змінилася їх номенклатура, асортимент і якість. Найочевиднішими є зміни, що відбулися у створенні високоефективних сортів паливо-мастильних матеріалів.

Ускладнення конструкції і умов експлуатації сучасної автотракторної та сільськогосподарської техніки, необхідність підвищення її надійності і довговічності, а також обмежені можливості нафтопереробної промисловості по створенню і виробництву високоякісних палив і змащувальних матеріалів гостро поставили питання удосконалення методів і технологій раціонального використання нафтопродуктів. Вирішення актуальних інженерно-технічних і наукових завдань в області якості, експлуатаційних властивостей і використання нафтопродуктів має велике значення для отримання максимального технічного, економічного і соціального ефекту.

У теперішній час дуже актуальною є проблема ефективної організації забезпечення автотракторної техніки і сільськогосподарського виробництва нафтопродуктами та вирішення питань організації контролю якості паливо-мастильних матеріалів на всіх етапах технологічної схеми нафтопродуктів від виробника до баків машини. У системі

нафтопродуктозабезпечення мають місце випадки, коли приймаються і відпускаються нафтопродукти без належної перевірки їхньої якості на відповідність вимогам стандартів, технічних умов та іншій нормативній документації. Автотранспортні підприємства та підприємства аграрного комплексу, не маючи у своєму розпорядженні достатньої кількості контрольних лабораторій, допускають до використання неякісні палива та мастильні матеріали. Практика показує, що підприємство одержує вигоду, якщо питання ефективного використання нафтопродуктів вирішується правильно і, навпаки, несе збитки, коли цим питанням не приділяється належної уваги.

Дуже часто незадовільна робота автотракторної техніки пов'язана з неправильним використанням паливо-мастильних матеріалів, застосуванням нафтопродуктів невідповідних сортів і марок, їхньої низької якості, яка може погіршуватись при операціях транспортування, зберігання та використання. За даними деяких досліджень встановлено, що використання некондиційних нафтопродуктів, які втратили свої початкові властивості, спричиняє збільшення простої автотракторної техніки з технічних причин на 10...20%, падіння потужності двигуна на 14...16%, перевитрату паливо-мастильних матеріалів на 8...12%, а також збільшуються витрати на технічне обслуговування і ремонт машин на 40...60%.

Проблема раціонального використання паливо-мастильних матеріалів на автотранспортних підприємствах і підприємствах аграрного комплексу стала однією з найважливіших економічних, технічних і соціальних проблем. Впровадження в експлуатацію сучасних паливо-мастильних матеріалів вимагає удосконалення організації нафтогосподарств і вирішення проблем, пов'язаних з контролем якості нафтопродуктів. Споживач повинен знати, який нафтопродукт він повинен використовувати. Для цього йому необхідно вміти перевіряти якість паливо-мастильних матеріалів, які пропонуються на ринку, а також визначати, наскільки вони відповідають вимогам сучасної автотракторної техніки і умовам експлуатації. Все це повинно базуватися на глибоких знаннях

фізико-хімічних та експлуатаційних властивостей паливо-мастильних матеріалів та вмінні оцінювати їх якість.

В навчальному посібнику основну увагу приділяється теоретичним основам та практичним навичкам використання палива, мастильних матеріалів та технічних рідин. Широко викладені основні їх фізико-хімічні та експлуатаційні властивості, особливості раціонального, економічного і безпечного використання. В посібнику значну увагу приділено вимогам до палива і мастильних матеріалів, відомостям про отримання рідких та газоподібних палив з нафти та з не нафтової сировини, технологічним процесам горіння всіх видів палива та системам забезпечення автотракторної техніки паливо-мастильними матеріалами.

Відповідно до програми дисципліни “Паливо-мастильні та інші експлуатаційні матеріали” у навчальному посібнику особливу увагу приділено технічно обґрунтованому підбору нафтопродуктів, що використовуються, методам оцінки їх якості і класифікації в залежності від конструкції, напруженості роботи і умов експлуатації машин та механізмів.

Навчальний посібник є результатом узагальнення багаторічного досвіду викладання цієї дисципліни в Кіровоградському національному технічному університеті та інших вищих навчальних закладах України, він також відображає сучасні досягнення вітчизняної та закордонної науки і виробничої практики в галузі використання паливо-мастильних матеріалів та технічних рідин для енергетичних засобів сільського господарства і автотракторної техніки.

# РОЗДІЛ

# 1

## Використання та експлуатаційні властивості палив для енергетичних засобів сільськогосподарського виробництва і автотранспортних підприємств

---

1. *Види палив, їх властивості й процеси горіння*

2. *Загальні відомості про одержання рідких палив і масел*

3. *Експлуатаційні властивості та використання палив для двигунів із примусовим запалюванням*

4. *Палива для дизельних двигунів*

5. *Газоподібне паливо*

## **1. ВИДИ ПАЛИВ, ЇХ ВЛАСТИВОСТІ І ПРОЦЕСИ ГОРІННЯ**

*1.1. Загальна характеристика палива. Класифікація*

*1.2. Склад палива*

*1.3. Теплота згоряння палива*

*1.4. Тверде паливо*

*1.5. Рідке паливо*

*1.6. Газоподібне паливо*

*1.7. Основи теорії горіння палива*

*1.8. Технологічний процес горіння палива*

### **1.1. Загальна характеристика палива. Класифікація**

Паливом називають горючу речовину, яку спеціально спалюють для одержання тепла і подальшого його використання для інших потреб у сільськогосподарському виробництві. Воно повинно мати певні властивості, тобто відповідати таким основним вимогам: порівняно легко займатися; при згорянні виділяти якомога більше теплоти; бути поширеним у природі, доступним при видобуванні та дешевим при виробництві; не змінювати свої властивості при транспортуванні та зберіганні; бути нетоксичним і при згорянні не виділяти шкідливих та отруйних речовин.

Цим вимогам найбільш повно відповідають речовини органічного походження: нафта, природний газ, тверді горючі копалини тощо.

Палива класифікують за такими основними ознаками: агрегатним станом, походженням і способом одержання, тепловою цінністю, цільовим призначенням або застосуванням.

За агрегатним станом всі види палива поділяють на тверді, рідкі і газоподібні.

За походженням палива ділять на нафтові і альтернативні. До альтернативних палив належать спирти, водень і майже всі види штучних вуглеводних палив.

За способом одержання палива бувають природні, які використовують у тому вигляді, в якому вони існують у природі, і штучні, якщо після видобутку їх переробляють.

За тепловою цінністю, тобто тепловою згорання, палива класифікують на висококалорійні, середньо - і низькокалорійні.

За цільовим призначенням паливо розрізняють: паливо для двигунів з примусовим запалюванням, реактивні і дизельні палива. Для двигунів з примусовим запалюванням відносять бензин і газоподібне паливо. Дизельне паливо виготовляють для швидкохідних двигунів (автомобільних, тракторних тощо), для середньо - і тихохідних двигунів (судових і стаціонарних).

У сільському господарстві застосовують всі види палив: рідке – яке забезпечує роботу сільськогосподарської техніки, стаціонарних двигунів та інших теплових установок сільськогосподарського виробництва (дизель-електростанцій з двигунами внутрішнього згорання, котельні установки тощо); газоподібне – у газобалонних автомобілях і газогенераторних установках, для технологічних і побутових потреб; тверде – для різних виробничих і побутових потреб.

Поняття «паливо» є категорія не тільки технічна, а й економічна та екологічна, оскільки у кожному конкретному випадку його використання має бути ефективним. До того ж, при спалюванні палива необхідно створювати умови для якомога меншого забруднення навколишнього середовища.

Класифікація основних видів палива за його походженням та агрегатним станом наведена у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

**Класифікація палива**

| Агрегатний стан палива | Походження палива   |  |
|------------------------|---|--|
|                        | природне  | штучне   |
| Тверде                 | Викопне (торф, буре та кам'яне вугілля, антрацит, горючі сланці), дрова, відходи сільськогосподарського виробництва | Кокс, напівкокс, торфові та кам'яновугільні брикети, деревне вугілля         |
| Рідке                  | Нафта   | Топкові мазути, паливо пічне побутове, дизельне, солярове масло, бензин тощо |
| Газоподібне            | Природний та попутний газ   | Гази генераторний, доменний, коксовий та ін. Пропан-бутанові суміші. Біогаз. |

**1.2. Склад палива**

Будь-яке паливо складається з двох основних частин: горючої і негорючої (баласту). Горюча частина містить різні органічні сполуки, до яких входять такі хімічні елементи: вуглець (С), водень (Н), сірка (S), кисень (O), азот (N), а також ті неорганічні сполуки, які під час горіння палива, розкладаючись, утворюють легкі речовини.

Склад твердого і рідкого палива визначається у процентах за масою, газоподібного – у процентах за об'ємом.

*Вуглець* – основа горюча складова, із збільшенням частки якої зростає теплова цінність палива. Вміст вуглецю у різних

видах палива коливається у межах від 50% (дрова) до 98% (антрацит).

*Водень* за теплою згорання майже у 4 рази цінніший ніж вуглець. Враховуючи, що вміст водню в паливі складає до 25% - це друга за значимістю складова частини палива.

*Кисень*, що входить в склад палива, не горить і тому фактично є внутрішнім баластом горючої частини. Вміст кисню становить від 0,5% до 43%. Чим більше в горючій частині кисню, тим менш цінне паливо.

*Азот*, як і кисень, не горить, є внутрішнім баластом горючої частини. У твердому і рідкому паливі вміст азоту невеликий (0,5...1,5%) і тому вплив його на теплову цінність палива незначний. Однак, у деякому газоподібному паливі (наприклад, генераторному газі) вміст азоту становить біля 50%, що різко знижує його теплову цінність.

*Сірка* є горючим елементом і, входячи до складу палива у вільному стані або у вигляді органічних і сульфідних сполук, бере участь у горінні. Але не зважаючи на це, сірка є дуже небажаною складовою палива тому, що під час горіння сірки утворюються сполуки  $SO_2$ ,  $SO_3$ , які викликають газову корозію, а з'єднуючись з вологою, яка завжди є у паливі, перетворюються у сірчисту та сірчану кислоти, які викликають рідину корозію металів. Вміст сірки у твердому паливі коливається від 0,01 до 8%, а у нафтах – від 0,1 до 4%. При переробці палива намагаються вміст сірки за можливістю довести до мінімуму.

*Негорюча частина* у твердому і рідкому паливі складається з мінеральних домішок (при згорянні утворюють золу А) і води W. Ця частина, зменшуючи об'єм горючої частини і відбираючи частину теплоти на своє нагрівання, знижує теплову цінність палива. Крім того зола прискорює абразивне спрацювання деталей циліндро-поршневої групи двигунів, а вода збільшує корозію та ускладнює експлуатацію установок взимку.

---

---

Вміст мінеральних домішок у рідкому паливі вимірюється десятими частинами процента, а у твердому – десятками процентів. Мінеральні домішки і вологу розділяють на зовнішні та внутрішні. Перші – потрапляють у паливо з навколишнього середовища при його добуванні, транспортуванні, зберіганні, другі – входять до його хімічного складу.

Залежно від фізичного стану палива, при якому визначають його елементарний склад, розглядають маси: робочу (р), аналітичну (повітряно-суху, лабораторну) (а), суху (с), горючу (г) і органічну (о).

Паливо, яке надходить до споживачів у природному стані та містить, крім горючої частини, золу і вологу, називають робочим. Елементарний склад палива виражають рівнянням

$$C^p + H^p + O^p + N^p + S^p + A^p + W^p = 100\% \quad (1.1)$$

У тих випадках, коли паливо піддають лабораторному дослідженню, з нього готують аналітичну пробу, яку приводять для повітряно-сухого стану. При цьому паливо містить тільки внутрішню вологу.

Суха маса не має вологи, оскільки вона одержана штучним сушінням при температурі 105 °С.

Горюча маса – це паливо, що не має вологи і золи. А якщо з палива видалити ще і сірку, то отримують органічну масу.

Зальний склад палива для різного його стану схематично показаний на рис. 1.1. Елементарний склад палива розраховують на горючу і суху маси, а всі теплові розрахунки ведуть на робочу (дійсну) масу, склад якої залежить від кількості золи і вологи.

Горюча частина газоподібного палива включає: водень (H), оксид вуглецю (CO), метан (CH<sub>4</sub>), та інші вуглеводні (C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>) з числом атомів вуглецю до чотирьох. Негорюча частина – пари води і негорючі гази (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>).

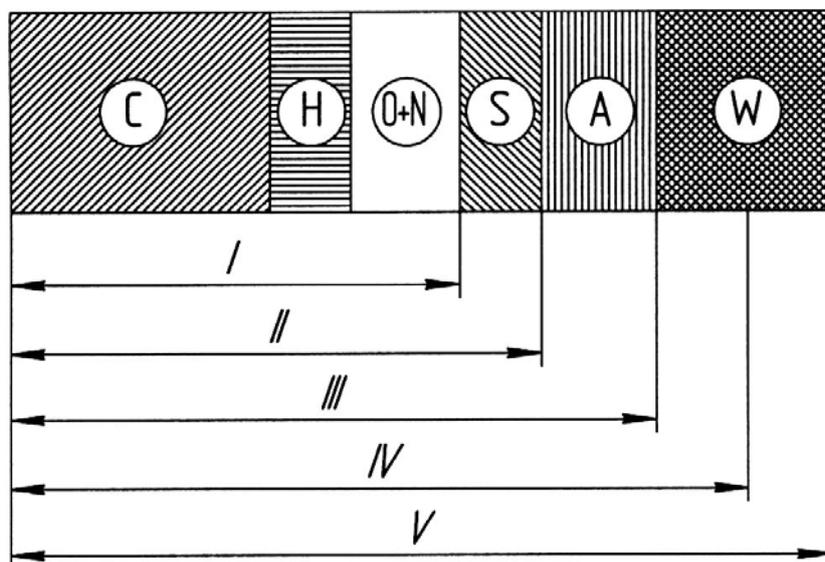


Рис 1.1. Загальний склад палива:  
*I*– органічна; *II*– горюча; *III*– суха; *IV*– лабораторна (аналітична);  
*V*– робоча маса

### 1.3. Теплота згоряння палива

Кількість теплоти, яка виділяється під час повного згоряння одиниці маси (1 кг рідкого або твердого) або одиниці об'єму (1 м<sup>3</sup> газоподібного) палива називають питомою тепловою згоряння (теплотворністю) палива (надалі у тексті просто теплота згоряння).

При згорянні вода, яка міститься в паливі та утворюється від згоряння водню, перетворюється в пару. На пароутворення води витрачається теплота. Теплоту  $Q$  згоряння називають вищою ( $Q_B$ ) у тому випадку, коли пари води конденсуються і теплота, що затрачена на пароутворення звільнюється. Якщо ж пари води виносяться з димовими або відпрацьованими газами, частина теплоти втрачається і таку теплоту називають нижчою ( $Q_H$ ).

Теплоту згоряння визначають експериментальним шляхом у спеціальних приладах-калориметрах, і розрахунковими методами. Суть калориметричного методу визначення теплоти зго-

рвання палива полягає в тому, що при спалюванні певної кількості палива у спеціально закритих камерах калориметричних установок теплота продуктів згоряння передається воді і при цьому її оцінюють за підвищенням температури в калориметрі.

При визначенні теплоти згоряння розрахунковими методами необхідно знати елементний склад палива. Найчастіше визначають теплоту згоряння за законом Г.І. Геса, згідно з яким вона залежить від складу початкових та кінцевих продуктів і не залежить від проміжних реакцій. Підрахована таким чином теплота згоряння буде трохи відрізнятися від фактичної, оскільки горючі елементи у паливі перебувають не у вільному стані, а утворюють різні органічні сполуки, на руйнування яких витрачається частина теплоти. Тому згоряння палива дає менший тепловий ефект, ніж згоряння окремих елементів, які входять до його складу, що і враховується коефіцієнтами формул. У практиці найчастіше для визначення теплоти згоряння застосовують формули Д.І. Менделєєва. Відповідно до них теплоту згоряння рідких і твердих палив, кДж/кг, визначають так

$$Q_{BB} = 339 C + 1256 H - 109 (O - S); \quad (1.2)$$

$$Q_H = Q_B - 25(9H + W) = 339C + 1090H - 109(O - S) - 25W, \quad (1.3)$$

де  $C, H, O, S, W$  - елементний склад палива, проценти за масою;

$25$  - коефіцієнт, який враховує втрати теплоти, що виносяться продуктами згоряння в атмосферу (1 кг пари при виносі в атмосферу забирає 2500 кДж/кг);

$9H$  - число масових частин води, що утворюється при згорянні однієї масової частини водню.

Теплоту згоряння газоподібного палива, кДж/м<sup>3</sup>, у розрахунку на суху масу визначають за формулами

$$Q_B = 128(CO + H_2) + 339CH_4 + 639C_nH_m \quad (1.4)$$

$$Q_H = 128CO + 108H_2 + 356CH_4 + 589C_nH_m \quad (1.5)$$

## Види палив, їх властивості і процеси горіння

де  $CO$ ,  $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $C_nH_m$  – склад газоподібного палива, проценти за об'ємом при нормальних умовах ( $0^\circ C$ , тиск 760 мм рт. ст.).

Теплоту згорання робочої маси газоподібного палива що містить вологу підраховують за формулами

$$Q_B^P = Q_B^c \frac{0,805}{0,805 + W}; \quad (1.6)$$

$$Q_H^P = Q_H^c \frac{0,805}{0,805 + W}, \quad (1.7)$$

де 0,805 – маса  $1\text{ м}^3$  газу, кг.

Для порівняння різних видів палива, а також для обліку загальних запасів палива і складання замовлень встановлений еталон – умовне паливо. Умовне паливо – це єдиний еквівалент всіх видів палива за теплою згорання. Розрахункова теплота згорання умовного палива для твердого і рідкого палива дорівнює 29307 кДж/кг, а для газоподібного – 29308 кДж/кг.

При порівнянні палив визначають їх теплові (калорійні) еквіваленти, які є відношенням теплоти згорання будь-якого палива до теплоти згорання умовного

$$E = \frac{Q_H^P}{29307} \quad (1.8)$$

Щоб перерахувати фактичне паливо в умовне потрібно його масову кількість помножити на тепловий еквівалент (таблиця 1.2).

*Таблиця 1.2*

Теплота згорання і теплові еквіваленти палива і вуглеводнів

| Палива, сполуки | Теплота згорання,<br>кДж/кг | Тепловий еквівалент |
|-----------------|-----------------------------|---------------------|
| 1               | 2                           | 3                   |
| Умовне паливо   | 29307                       | 1,00                |

| <i>Продовження табл. 1.2.</i> |       |      |
|-------------------------------|-------|------|
| 1                             | 2     | 3    |
| Кам'яне вугілля               | 29310 | 1,00 |
| Антрацит                      | 30230 | 1,03 |
| Буре вугілля                  | 14235 | 0,49 |
| Торф                          | 13440 | 0,46 |
| Деревина                      | 12500 | 0,43 |
| Нафта                         | 41867 | 1,43 |
| Бензин                        | 44000 | 1,50 |
| Гас (керосин)                 | 43200 | 1,47 |
| Дизельне паливо               | 42600 | 1,45 |
| Мазут                         | 41150 | 1,40 |
| Гази:                         |       |      |
| - природний                   | 35586 | 1,21 |
| - водяний                     | 10885 | 0,37 |
| - світильний                  | 18000 | 0,63 |
| - зріджений                   | 46000 | 1,57 |
| Бутан                         | 45800 | 1,56 |
| Ізооктан                      | 44600 | 1,52 |
| Бензол                        | 41000 | 1,40 |
| Метанол                       | 19000 | 0,65 |
| Етанол                        | 26400 | 0,90 |

#### 1.4. Тверде паливо

Тверде органічне паливо – це деревина, торф, сланці, буре вугілля, кам'яне вугілля і антрацит. Цінність палива як горючої величини визначається його хімічним складом і основними властивостями.

*Дрова* за геологічним віком – наймолодше органічне паливо. Вони містять понад 60% целюлози, близько 30% лігніну і приблизно 1% мінеральних домішок. Для різних порід склад органічної маси дров приблизно однаковий

$$C^r = 50\%, H^r = 6\%, O^r = 43\%, N^r = 1\%.$$

Основним баластом у дровах є волога, вміст якої у свіжо зрубаних деревині дорівнює 50...60%. Дрова бувають: сухі з вологістю менше 25%; напівсухі з вологістю 25...35% і сирі з вологістю понад 35%. Теплота згоряння горючої маси дров становить 18,8...19,2 МДж/кг, проте при вологості 30% вона знижується до 13,0...13,3 МДж/кг.

*Торф* – молоде за геологічним віком викопне паливо. Він утворюється в результаті розкладання рослинності в умовах надлишку вологи і незначного доступу повітря. Розрізняють торф моховий, або верховий, з незначним вмістом золи (2...4 %) і лучний, або низинний, із зольністю 8...16 %. Зустрічаються торф'яники змішаного перехідного походження, зольність яких дорівнює 7...9 %.

Вологість свіжо видобутого торфу становить приблизно 90%. У процесі природного сушіння його вологість знижується до 40%.

Органічна маса торфу характеризується таким складом:  $C^r=55...56\%$ ,  $H^r=6\%$ ,  $O^r=35...40\%$ ,  $N^r=0,5...3\%$ ,  $S^r=0,12...1,5\%$ . Нижча теплота згоряння горючої маси торфу становить близько 12,6 МДж/кг.

У парових топках спалюють кусковий торф, що формується у процесі видобування у вигляді цеглин із наступним їх сушінням. Найбільше застосовують в енергетиці фрезерний торф, що одержують у вигляді дрібняку. Такий торф використовують у топках камерного типу.

*Сланці* складаються із вапняків, що просякнуті продуктами розкладу рослин і тваринних організмів без доступу повітря. Вони відрізняються високим вмістом золи (50... 60%) і вологи (15...25%). У горючій частині сланців високий вміст кисню (до 10%) і великий вихід летких речовин (до 90%), тому вони легко займаються. Значна зольність різко знижує теплову цінність сланців; їх теплота згоряння коливається у межах 5,8...10,8 МДж/кг. У народному господарстві сланці, як і торф, використовують як місцеве котельне паливо.

*Буре вугілля* – паливо рослинного походження старішого

розкладання, ніж торф. Воно має високу зольність (15...30%) і вологість (15...30%), тому діапазон значення його теплоти згоряння великий — 6,3...18,9 МДж/кг. За вологістю його поділяють на три групи: групу Б1 із вмістом води понад 40%, групу Б2 із вмістом води 30...40 % і групу Б3 із вмістом води до 30%. Склад горючої маси бурого вугілля дуже неоднорідний:  $C^r=65...78\%$ ,  $H^r=4,3...6,2\%$ ,  $O^r=16...17\%$ ,  $N^r=0,7...1,8\%$ ,  $S^r=0,4...3,9\%$ . Вихід летких речовин на горючу масу становить 30...60%.

Буре вугілля має схильність до самозаймання. Тому його рекомендується вкладати у штабелі висотою до 2,5 м і зберігати не більше місяця.

*Кам'яне вугілля* утворювалось у результаті повільного розкладу деревовидних рослин без доступу повітря протягом мільйонів років. Це основний вид твердого палива в енергетиці. За складом органічної маси кам'яне вугілля неоднорідне:  $C^r=78...90\%$ ,  $H^r=4,0...5,8\%$ ,  $Q^r=3,0...15,0\%$ ,  $N^r=0,5...2,0\%$ ,  $S^r=1,0...6,0\%$ . Зольність кам'яного вугілля на робочу масу становить 10...25%, вологість 5...12%, вихід летких речовин 9...50%. Нижча теплота згоряння робочої маси коливається від 20,7 до 31,4 МДж/кг.

Кам'яне вугілля поділяють на марки, які розрізняють за виходом легких речовин і характером легкого залишку (табл. 1.3).

Таблиця 1.3

Марки кам'яного вугілля

| Вугілля            | Марка | $Q_H^P$ ,<br>МДж/кг | Вугілля            | Марка | $Q_H^P$ ,<br>МДж/кг |
|--------------------|-------|---------------------|--------------------|-------|---------------------|
| Довгополу-<br>мене | Д     | Понад 37            | Пісне<br>спікливе  | ОС    | 14...22             |
| Газове             | Г     | Понад 35            | Слабко<br>спікливе | СЕ    | 25...37             |
| Жирне              | Ж     | 27...35             | Пісне              | Т     | 8...17              |
| Коксове            | К     | 18...27             |                    |       |                     |

*Антрацити* мають найдавніший геологічний вік серед твердого палива. Вони чорного кольору, їм властиві високі щільність і міцність, їх можна перевозити на великі відстані без помітного подрібнення. Вологість антрацитів 3...7%, зольність 10...18%, вихід летких речовин 2...9%, теплота згоряння 25...27 МДж/кг.

*Відходи сільськогосподарського виробництва* використовують як паливо для виробничих та побутових потреб. До них відносять солому, стебла соняшника і бавовни, кострицю, лущиння соняшника, рисову лузгу тощо. За складом органічної маси ці відходи близькі до деревини. З відходів сільськогосподарського виробництва із застосуванням зв'язуючих речовин одержують брикети. Вони найзручніші для спалювання.

### 1.5. Рідке паливо

Рідке паливо, що використовують для потреб теплоенергетики, одержують методами його термохімічного розкладу.

*Нафта* складається в основному з вуглеводнів трьох класів: метанові вуглеводні - метан, етан, пропан, бутан, ізобутан тощо; нафтеніві вуглеці - циклогексан тощо; ароматичні вуглеці - бензол, толуол, нафталін тощо.

Склад нафти такий:  $C^P = 83...87\%$ ,  $H^P = 11...14\%$ ,  $S^P$  від 0,01 - у малосірчистих нафтах до 5,0...7,0% - у високосірчистих,  $O^P = 0,1...0,3\%$ ,  $N^P = 0,02...1,7\%$ . Нижча робоча теплота згоряння нафти  $Q_H^P = 40...46$  МДж/кг. Природна нафта містить не більше 0,3% мінеральних домішок і 2% води.

Із нафти, залежно від температури перегонки, одержують нафтопродукти: бензинові, гасові, дизельні, соляріві, мазутні. Для побутового опалення випускають *підне побутове паливо* (ППП). У великих опалювальних котельнях, що працюють на рідкому паливі, звичайно застосовують мазут, а у невеликих котельнях та побутових установках - підне побутове паливо.

## Характеристика твердих та

| Родовище,<br>вид палива      | Марка | Склад робочої маси, % |       |         |            |       |       |       |       |
|------------------------------|-------|-----------------------|-------|---------|------------|-------|-------|-------|-------|
|                              |       | $W^P$                 | $A^P$ | $S_K^P$ | $S_{CP}^P$ | $C^P$ | $H^P$ | $N^P$ | $O^P$ |
| <i>Тверде паливо</i>         |       |                       |       |         |            |       |       |       |       |
| Донецьке                     | Д     | 13,0                  | 24,4  | 1,8     | 1,3        | 47,0  | 3,4   | 1,0   | 8,1   |
|                              | Г     | 10,0                  | 25,2  | 2,1     | 1,1        | 51,2  | 3,6   | 0,9   | 5,9   |
|                              | Ж     | 6,0                   | 26,3  | 2,0     | 0,7        | 56,5  | 3,5   | 1,0   | 4,0   |
|                              | Т     | 6,0                   | 25,4  | 1,6     | 0,8        | 61,1  | 2,9   | 1,0   | 1,2   |
|                              | А     | 8,5                   | 30,2  | 1,1     | 0,5        | 56,4  | 1,1   | 0,5   | 1,7   |
| Львівсько-<br>Волинське      | Г     | 10,0                  | 22,5  | 2,1     | 0,9        | 53,3  | 3,5   | 1,0   | 6,7   |
|                              | ГЖ    | 8,0                   | 32,2  | 2,1     | 0,7        | 49,7  | 3,3   | 0,7   | 4,3   |
| <i>Рідке паливо</i>          |       |                       |       |         |            |       |       |       |       |
| Мазут:                       |       |                       |       |         |            |       |       |       |       |
| <i>малосір-<br/>чистий</i>   | –     | 3,0                   | 0,05  | –       | 0,3        | 84,6  | 11,7  | 0,3   | –     |
| <i>сірчистий</i>             | –     | 3,0                   | 0,10  | –       | 1,4        | 83,8  | 11,2  | 0,5   | –     |
| <i>висо-<br/>косірчистий</i> | –     | 3,0                   | 0,10  | –       | 2,8        | 83,0  | 10,4  | 0,7   | –     |
| Гас                          | –     | –                     | –     | –       | 0,2        | 86,0  | 13,7  | 0,1   | –     |
| Дизельне<br>паливо           | –     | –                     | –     | –       | 0,3        | 86,3  | 13,3  | 0,1   | –     |
| Солярове<br>масло            | –     | –                     | –     | –       | 0,3        | 86,5  | 12,8  | 0,4   | –     |
| Пічне<br>побутове<br>паливо  | –     | –                     | –     | –       | 0,5        | 86,0  | 13,5  | –     | –     |

Види палив, їх властивості і процеси горіння

Таблиця 1.4

рідких видів палива

| Склад повітря і продуктів згорання, м <sup>3</sup> /Н |              |             |              | Геплота згорання $Q_H^P$ , МДж/кг | Вихід легких речовин, % |
|---|--------------|-------------|--------------|-----------------------------------|-------------------------|
| $V^0$   | $V_{RO_2}^0$ | $V_{N_2}^0$ | $V_{H_2O}^0$ |                                   |                         |
| <i>Тверде паливо</i>                                  |              |             |              |                                   |                         |
| 0,491   | 0,090        | 0,389       | 0,062        | 18,5                              | 43                      |
| 0,542   | 0,098        | 0,429       | 0,061        | 20,47                             | 40                      |
| 0,591   | 0,170        | 0,467       | 0,056        | 22,40                             | 32                      |
| 0,624   | 0,116        | 0,494       | 0,050        | 23,40                             | 12                      |
| 0,530   | 0,106        | 0,419       | 0,030        | 19,97                             | 4                       |
| 0,554   | 0,102        | 0,439       | 0,060        | 20,85                             | 39                      |
| 0,515   | 0,093        | 0,408       | 0,055        | 19,38                             | 36                      |
| <i>Рідке паливо</i>                                   |              |             |              |                                   |                         |
|   |              |             |              |                                   |                         |
| 1,062   | 0,158        | 0,839       | 0,151        | 40,28                             | —                       |
| 1,045   | 0,157        | 0,825       | 0,145        | 39,73                             | —                       |
| 1,0,20  | 0,157        | 0,806       | 0,136        | 38,77                             | —                       |
| 1,12  | 0,161        | 0,891       | 0,170        | 43,0                              | —                       |
| 1,120   | 0,162        | 0,885       | 0,166        | 42,65                             | —                       |
| 1,108   | 0,162        | 0,877       | 0,160        | 42,4                              | —                       |
| 1,124   | 0,161        | 0,888       | 0,168        | 39,8                              | —                       |

---

---

*Мазути*, що застосовують у котлах, поділяють на топкові марок 40В і 40 (паливо середньої в'язкості) і топкові мазути 100В, 100 і 200 (паливо важке).

За вмістом у них сірки топкові мазути ділять на три групи: малосірчасті ( $S^P < 0,5\%$ ), сірчасті ( $S^P = 0,5...2\%$ ) і високосірчасті ( $S^P > 2\%$ ). Зольність мазутів не перевищує 0,1...0,3%. Вміст води у мазуті коливається у великих межах (від 0,5 до 5,0%). Теплота згоряння мазуту становить 39...42 МДж/кг. Температура спалаху дорівнює 80...140°C. В'язкість, що визначається при температурах 50, 80 і 100°C, коливається у межах 5...16°ВУ. Густина мазуту дорівнює 9,8...10,5кН/м<sup>3</sup>.

*Пічне побутове паливо* широко використовується у сільськогосподарському виробництві. На цьому паливі працюють парові та водогрійні котли, теплогенератори, зерносушарки, установки для комунально-побутових потреб. Пічне паливо виробляється з нафти. Температура його застигання не вище – 15°C і тому ємкості, де зберігається паливо, і баки, звідки воно надходить до установок для спалювання, розміщують в утеплених приміщеннях.

*Пічне побутове малов'язке паливо* (із умовною в'язкістю не більше 1,15°ВУ). Температура спалаху не нижча +42 °С. Нижча теплота згоряння у перерахунку на сухе паливо – не менше 41,2 МДж/кг.

*Гас* використовують як паливо у теплогенераторах і сушарках, а також для побутових потреб.

*Дизельне паливо* випускають двох марок ДТ і ДМ. Паливо марки ДТ має в'язкість при 50°C менше 5°ВУ, температуру спалаху понад 65°C, температуру застигання менше -5°C. Паливо марки ДМ характеризується в'язкістю при температурі 50°C, що дорівнює 20 °ВУ, температурою спалаху 85°C, температурою застигання -10°C. Нижча теплота згоряння дорівнює приблизно 42,5 МДж/кг. Дизельне паливо використовують в основному у дизелях, у тому числі у дизельних електростанціях.

Характеристики твердих і рідких палив наведені в табл.1.4.

## 1.6. Газоподібне паливо

Газоподібне паливо поділяють на природне і штучне. До природного відносять газ, що видобувається з газових родовищ, попутний газ, одержуваний одночасно із видобутком нафти, а також газ, який видобувається із конденсатних родовищ. До штучних відносять гази, що одержують при переробці нафти, перегонці твердого палива, анаеробній ферментації відходів (біогаз), а також зріджені гази.

Гази, що видобуваються із газових родовищ, складаються в основному з метану (85...95%). Вміст у них  $N_2$  – 0...4%,  $CO_2$  – не більше 15%,  $H_2S$  – не більше 6%. Нижча теплота згоряння цих газів  $Q_H^p=33...40$  МДж/кг.

Генераторний газ одержують при перегонці твердого палива (кам'яне або буре вугілля, дрова, торф) із нестачею повітря близько 60% у спеціальних установках – газогенераторах. Склад генераторного газу коливається у межах:  $CO=25...30\%$ ,  $H_2=12...15\%$ ,  $CH_4=05...3,5\%$ ,  $CO_2=5...8\%$ ,  $O_2=,2...0,5\%$ ,  $N_2=45...50\%$ . Нижча теплота згоряння генераторного газу  $5...6,5$  МДж/м<sup>3</sup>.

Основні характеристики органічних палив України наведені у таблицях 1.4 та 1.5.

Таблиця 1.5

Характеристика природного газоподібного палива

| Родовище, газопровід | Склад газу по об'єму, % |                               |                               |                                |                                |                 |                | Теплота згоряння, МДж/м <sup>3</sup> | Густина, кН/м <sup>3</sup> , при t=0 °C, p= 101,3 кПа |
|----------------------|-------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------|----------------|--------------------------------------|---|
|                      | CH <sub>4</sub>         | C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> | C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> | C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> | C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> | CO <sub>2</sub> | N <sub>2</sub> |                                      |   |
| 1                    | 2                       | 3                             | 4                             | 5                              | 6                              | 7               | 8              | 9                                    | 10  |
| Єфремівське          | 93,2                    | 3,9                           | 0,81                          | 0,28                           | 0,18                           | 0,20            | 1,4            | 33,4                                 | 0,770   |
| Джанкойське          | 96,0                    | 0,5                           | 0,20                          | 0,04                           | -                              | 0,20            | 3,0            | 32,5                                 | 0,740   |
| Пролетарське         | 86,2                    | 5,3                           | 2,4                           | 2,0                            | 1,55                           | 0,10            | 1,5            | 38,6                                 | 0,874   |

| <i>Продовження табл. 1.5.</i> |      |     |      |      |     |     |     |      |       |
|-------------------------------|------|-----|------|------|-----|-----|-----|------|-------|
| 1                             | 2    | 3   | 4    | 5    | 6   | 7   | 8   | 9    | 10    |
| Дашава-Київ                   | 93,9 | 0,3 | 0,10 | 0,10 | -   | 0,2 | 0,4 | 35,9 | 0,712 |
| Шебелинка-Дніпропетровськ     | 92,8 | 3,9 | 1,0  | 0,4  | 0,3 | -   | 1,5 | 37,3 | 0,781 |

### 1.7. Основи теорії горіння палива

Горінням називають процес екзотермічного окислення горючої речовини, що швидко відбувається та супроводжується інтенсивним виділенням тепла. В основі процесу горіння лежить хімічна реакція між горючою речовиною та окислювачем. Окислювачем звичайно служить повітря.

Горіння відрізняється від процесу окислення: швидкоплинністю перебігу в часі; змінністю концентрацій компонентів у міру їх взаємодії; зміною форми поверхні реагування у часі; високим значенням температури. Процес горіння – це складний фізико-хімічний процес, що залежить від взаємодії хімічних, теплових та гідродинамічних факторів.

Реакція горіння відбувається не безпосередньо між молекулами вихідних речовин (палива і окислювача), а через проміжні стадії. Цим визначається ланцюговий механізм горіння, розроблений М.М.Семеновим. Реакція горіння є результатом ряду ланцюгових реакцій, що перебігають послідовно.

Залежно від фазового стану речовин, що реагують при горінні (тверді, рідкі, газоподібні), хімічні реакції поділять на гомогенні, що відбуваються між компонентами, котрі перебувають в одній фазі (наприклад, у газоподібному стані), і гетерогенні, що відбуваються на межі двох фаз. Прикладами гомогенного горіння є горіння добре перемішаних газового палива і повітря, а також горіння швидко випарюваних рідких палив. При цьому мається на увазі їх перемішування з окислювачем до процесу горіння. Прикладами гетерогенного горіння служить горіння твердих палив і горіння крапель рідких важких палив, коли фронт горіння встановлюється на межі

розділу палива і окислювача. Горіння палива є потоковим процесом і для його перебігу необхідно підведення компонентів (палива і окислювача) у зоні реакції і відведення з неї продуктів згорання.

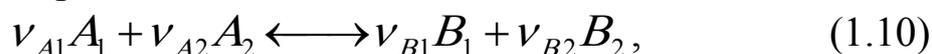
Організація перебігу процесу горіння можлива у ламінарному та турбулентному потоках окислювача. У загальному випадку час горіння  $t_r$  палива складається із часу перебігу фізичних  $t_\phi$  і хімічних  $t_x$  процесів

$$t_r = t_\phi + t_x, \quad (1.9)$$

Швидкість хімічної взаємодії виражається зміною концентрацій речовин, що реагують, за одиницю часу.

Згідно із законом дії мас в однорідному середовищі при постійній температурі швидкість реакції у кожний момент пропорційна добутку концентрації речовин, що реагують.

До зворотної хімічної реакції можна скласти стехіометричне рівняння



де  $A_1, A_2, B_1, B_2$  – хімічні символи речовин, що реагують;

$\nu_{A1}, \nu_{A2}, \nu_{B1}, \nu_{B2}$  - стехіометричні коефіцієнти.

Швидкість прямої реакції виражається рівнянням

$$\omega_1 = k_1 C_{A_1}^{\nu_{A_1}} C_{A_2}^{\nu_{A_2}} \quad (1.11)$$

і відповідно швидкість зворотної реакції

$$\omega_2 = k_2 C_{B_1}^{\nu_{B_1}} C_{B_2}^{\nu_{B_2}}, \quad (1.12)$$

де  $k_1$  і  $k_2$  — константи швидкості відповідно прямої та зворотної реакції;

$C_{A_1}, C_{A_2}, C_{B_1}, C_{B_2}$  - поточні концентрації речовин, що реагують.

При хімічній рівновазі швидкості прямої та зворотної реакцій дорівнюють одна одній:  $\omega_1 = \omega_2$ .

У цьому випадку можна записати

$$\frac{C_A^{V_{A_1}} C_{A_2}^{V_{A_2}}}{C_{B_1}^{V_{B_1}} C_{B_2}^{V_{B_2}}} = \frac{K_2}{K_1} = K_c, \quad (1.13)$$

де  $K_c$  — константа рівноваги, що є постійною величиною.

Швидкість реакції значною мірою залежить від температури. Ця залежність виражається законом Арреніуса

$$\omega = k_0 e^{-E/(kT)} C_{A_1}^{V_{A_1}} C_{A_2}^{V_{A_2}}, \quad (1.14)$$

де  $k_0$  — передекспоненційний множник, що визначається дослідним шляхом ( $k_0 \approx \sqrt{T}$ );

$E$  — енергія активації, що дорівнює деякому потенціальному бар'єру, необхідному для руйнування початкових зв'язків у молекулі;

$k$  — універсальна газова стала;

$T$  — термодинамічна температура,  $^{\circ}\text{K}$ .

Швидкість реакції горіння різко збільшується із підвищенням температури. Тому для всіх реакцій горіння характерна особливість — щоб горіння відбулося, реагенти повинні мати температуру, не нижчу від деякого граничного значення.

Тепловиділення при екзотермічній реакції для горючої суміші пропорційне швидкості реакції

$$Q_p = \omega Q = k_0 e^{-E/(kT)} C_{A_1}^{V_{A_1}} C_{A_2}^{V_{A_2}} Q, \quad (1.15)$$

де  $Q$  - теплота реакції горючої суміші.

Самозайманням називають ініціювання горіння у всьому обсязі реакційної суміші. Воно може статися при досягненні деякого граничного значення температури, що називають температурою самозаймання  $T$  суміші. Ця температура не є фізико-хімічною характеристикою, а залежить для кожного палива від умов підведення і відведення теплоти та інших факторів. Температура самозаймання водню знаходиться у

межах 580...590 °С, оксиду вуглецю - 644...658 °С, метану - 650...750 °С.

У більшості технічних пристроїв горіння ініціюється не шляхом самозаймання, а запалюванням за допомогою факела або електричної іскри.

### **1.8. Технологічний процес горіння палива**

Для процесу горіння необхідно, щоб горючі речовини і окислювач мали деяку (певну для кожної речовини) температуру, при якій порівняно швидко відбувається їх взаємодія. Температура, при якій хімічний процес різко прискорюється при зіткненні з відкритим вогнем і речовина займається, називається температурою займання. Якщо займання речовини відбувається без стикання з відкритим вогнем, матимемо температуру самозаймання. Подальше горіння продовжується внаслідок безперервного виділення тепла.

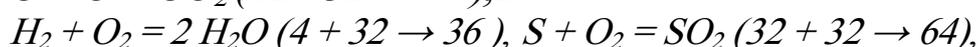
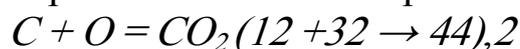
Швидкість процесу горіння залежить в основному від умов сумішоутворення. Залежно від цього горіння розділяють на кінетичне і дифузійне. Якщо процес утворення суміші палива і повітря передує горінню, то горіння називають кінетичним і якщо процеси відбуваються одночасно – дифузійним. На практиці, як правило, відбувається змішане горіння – дифузійно-кінетичне.

За температуру горіння приймають температуру, до якої нагріваються газоподібні продукти згорання внаслідок горіння палива. Розділяють температуру горіння теоретичну і дійсну. Теоретична температура горіння – це максимальна температура, яка може бути досягнута при відсутності втрат теплоти від теплообміну. В реальних умовах процес горіння супроводжується теплообміном і тепловими втратами, тому продукти згорання мають дійсну температуру горіння, яка нижче теоретичної.

Співвідношення палива і окислювача, яке відповідає хімічній реакції повного окислення паливних елементів називається стехіометричним.

Кількість кисню, теоретично необхідна для спалювання 1 кг твердого або рідкого палива, можна визначити на основі стехіометричного відношення для реакцій горіння елементів горючої маси палива (C, H, S).

Із рівнянь повного згоряння цих елементів



Враховуючи їх атомну масу, знаходимо, що для спалювання 12 кг вуглецю потрібно 32 кг кисню, тобто для спалювання 1 кг вуглецю потрібно  $32/12 = 2,67$  кг кисню. Аналогічно, для спалювання 1 кг водню потрібно 8 кг кисню, а для спалювання 1 кг сірки – 1 кг кисню.

Тоді формула для підрахунку теоретично необхідної кількості кисню, кг, для спалювання 1 кг палива буде мати вигляд

$$O_T = \frac{2,67C + 8H + S - O}{100} \quad (1.16)$$

де  $C, H, S, O$  – хімічні елементи горючої частини палива, % за масою.

Для спалювання палива, як правило, подається повітря, в якому кисень становить 23,2% за масою. Тоді теоретичну необхідну кількість повітря, кг, для спалювання 1 кг палива визначають за формулою

$$L_T = \frac{2,67C + 8H + S - O}{23,2} \quad (1.17)$$

Кількість повітря зручніше визначати в  $m^3/kg$ . Тоді формула матиме вигляд

$$L_T = \frac{2,67C + 8H + S - O}{23,2 \cdot 1,29}, \quad (1.18)$$

де 1,29 – маса 1  $m^3$  повітря.

Для газоподібного палива кількість повітря ( $\text{м}^3/\text{м}^3$ ) визначають за формулою

$$L_T = \frac{0,5(H_2 + CO) + (n + \frac{m}{4})C_H H_m - O_2}{21}, \quad (1.19)$$

де  $n$  – число атомів вуглецю;

$m$  – число атомів водню;

$21$  – вміст кисню у повітрі, % за об'ємом.

Склад газу у формулі наведений у процентах за об'ємом.

У виробничих умовах здійснити повне спалювання палива з теоретичною необхідною кількістю повітря практично неможливо. Тому для повного спалювання, як правило, подають надлишок повітря, тобто процес відбувається не з розрахунковою, а з фактичною (дійсною) кількістю повітря  $L_d$ .

Відношення дійсної витрати повітря до теоретично необхідної для спалювання  $1\text{кг}$  ( $1\text{м}^3$ ) палива називають коефіцієнтом надлишку повітря ( $\alpha$ )

$$\alpha = L_d / L_T \quad (1.20)$$

Суміш палива і повітря називають пальною сумішшю. Залежно від співвідношення кількості палива і повітря пальна суміш може бути: нормальна  $\alpha = 1$ , бідна  $\alpha > 1,15$ , багата  $\alpha < 0,8$ . При значеннях близьких до одиниці – збіднена або збагачена.

Коефіцієнт надлишку повітря визначають за формулами

При повному згорянні

$$\alpha = \frac{1}{1 - \frac{3,76O_2}{N_2}}; \quad (1.21)$$

При неповному

$$\alpha = \frac{1}{1 - \frac{3,76(O_2 - 0,5CO)}{N_2}} \quad (1.22)$$

де  $O_2$ ,  $CO$ ,  $N_2$  – процентний вміст за об'ємом у продуктах згоряння відповідно кисню, оксиду вуглецю (які визначають за допомогою спеціальних приладів – газоаналізаторів) і азоту (підраховують за різницею  $N_2 = 100 - (CO_2 + O_2 + CO)$ ).

Теплота згоряння пальної суміші ( $Q_{pc}$ ) залежить від кількості теплоти, що виділяється паливом у об'єму повітря

$$Q_{pc} = \frac{O}{1 + \alpha L_T}. \quad (1.23)$$

Для різних видів палива теплота згоряння нормальних пальних сумішей приблизно однакова – 2770 кДж/кг.

Пальну суміш, яка змішалась із залишковими газами від попереднього циклу в циліндрі двигуна, називають робочою. Якщо потрібно визначити її теплоту згоряння, то вносять поправку на коефіцієнт надлишкових газів. На практиці теплоту згоряння пальної і робочої суміші порівнюють.

Характер процесу горіння можна визначити за складом продуктів згоряння палива. Для цього існують різні газоаналізатори: хімічні, електричні, магнітні, механічні. Найпоширеніші прості хімічні газоаналізатори, які дозволяють визначити у відпрацьованих газах вміст вуглекислого газу, кисню і оксиду вуглецю. Принцип дії газоаналізаторів полягає в поглинанні розчинами певних складових елементів відпрацьованого газу, який послідовно пропускають через ці розчини. За відповідним збільшенням об'єму знаходять процентний вміст кожного окремого поглиненого компонента. Так, відсутність оксиду вуглецю свідчить про повне згоряння палива, а наявність  $CO$ ,  $CH$  і  $H_2$  про неповне.

## 2. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ОДЕРЖАННЯ РІДКИХ ПАЛИВ І МАСЕЛ

- 2.1. Загальні поняття про нафту*
- 2.2. Основні способи одержання палив і масел з нафти*
- 2.3. Короткі відомості про одержання палив і масел з ненафтової сировини*
- 2.4. Способи очищення палив*
- 2.5. Способи очищення масел*
- 2.6. Загальні показники фізико-хімічних і експлуатаційних властивостей нафтопродуктів*

### 2.1. Загальні поняття про нафту

Нафта, яку добувають з надр землі – в'язка, масляниста рідина з характерним запахом. Колір її залежить від кількості розчинених у ній смол. Нафта буває темно-бурого і бурозеленого кольору, а іноді майже безкольорова. Густина нафти коливається в межах  $7,5...9,5 \text{ кН/м}^3$  (густина нафти підвищується по мірі збільшення вмісту смолисто-асфальтових та твердих вуглеводів). Зустрічаються нафти з густиною  $10,3 \text{ кН/м}^3$ .

Питання походження нафти залишається до теперішнього часу відкритим. Існують ряд гіпотез походження нафти які базуються на різних теоріях.

*Нафта* – складна за хімічним складом і структурою рідина. Розрізняють елементарний і груповий хімічний склад нафти.

*Елементним хімічним складом нафти* називають вміст в ній окремих хімічних елементів, виражених в процентах за

масою. Аналіз нафт різних родовищ показує, що зміни в елементному складі незначні.

Нафта представляє собою складну суміш різних сполук вуглецю з воднем. По елементному складу вона містить 83...87% вуглецю, 11...14% водню, 0,1...1,3% кисню, 0,1...5,8% сірки, 0,02...1,7% азоту та сліди металів (заліза, нікелю, ванадію та ін). Кисень і азот знаходяться найчастіше у зв'язаному стані. Сірка може бути як у зв'язаному, так у вільному стані.

*Груповим хімічним складом нафти* називають вміст у ній окремих хімічних груп, які характеризуються співвідношенням та структурою сполук вуглецю і водню. Хімічні групи (гомологічні ряди) вуглеводнів характеризуються перш за все кількісним співвідношенням атомів вуглецю і водню. Це співвідношення виражається емпіричною формулою групи.

*Парафінові вуглеводні (алкани).* Загальна емпірична формула цієї групи –  $C_nH_{2n+2}$ , де  $n$  – число атомів вуглецю. Найпростішим представником цієї групи є метан –  $CH_4$ . Вони є сполученням вуглецевих і водневих атомів у вигляді незамкненого ланцюга (рис. 1.2).

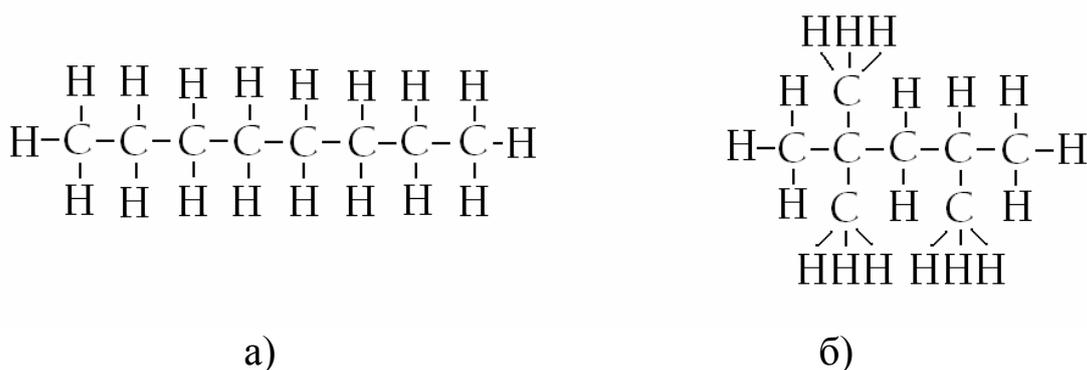


Рис. 1.2. Структури молекул парафінових вуглеводнів:  
а) - нормальна будова; б) - ізобудова

Кожен атом вуглецю (крім кінцевих) у такому ланцюзі мають два приєднаних атоми водню, утворюючи разом з ним метиленову групу  $CH_2$ . Кінцевий атом вуглецю має три приєднаних

атоми водню, утворюючи з ним метильну групу  $\text{CH}_3$ . За своєю структурою парафінові вуглеводні бувають нормальної та ізомерної будови.

Структура нормальних парафінових вуглеводнів (рис. 1.2,а) являє собою прямий нерозгалужений ланцюг атомів вуглецю, з'єднаних між собою одинарними зв'язками. Якщо ланцюг атомів вуглецю має одну або кілька розгалужених груп, структура називається ізомерною (рис. 1.2,б), а алкани з такою структурою називаються ізоалканами. Ізомерні вуглеводні, маючи туж хімічну формулу, що і вуглеводні нормальної будови, але іншу структуру розташування атомів, відрізняються за фізичними і хімічними властивостями. Зі збільшенням молекулярної маси температура кипіння, густина, в'язкість парафінових вуглеводнів підвищується. Нормальні парафінові вуглеводні при низьких і помірних температурах і при нормальному тиску слабо взаємодіють з киснем та іншими речовинами. Тому нафтопродукти, які містять парафінові вуглеводні, є стабільними в умовах транспортування і зберігання. З підвищенням температури до  $250\text{...}300\text{ }^\circ\text{C}$  швидкість взаємодії з окислювачем у нормальних алканів значно вище, ніж у ізопарафінових вуглеводнів з такою ж молекулярною масою. Нормальні парафінові вуглеводні, внаслідок низької антиокислювальної стабільності при високих температурах, знижують детонаційну стійкість бензину. І навпаки, висока стійкість ізоалканів до окислювання при високих температурах робить їх бажаними у складі високоякісних бензинів. Разом з тим, наявність у дизельних паливах нормальних парафінових вуглеводнів сприяє поліпшенню їхньої самозаймистості і тим самим забезпечує м'яку роботу двигуна. Однак, парафінові вуглеводні, маючи високу температуру застигання, погіршують низькотемпературні властивості дизельних палив і мастильних матеріалів. Тому для забезпечення потрібних в'язкісно-температурних властивостей нафтопродуктів їхній вміст обмежують шляхом депарафінізації вихідного матеріалу.

У залежності від числа атомів вуглецю парафінові вуглеводні розрізняються агрегатним станом. Алкани з числом атомів від 1 до 4 у нормальних умовах є газами, від 5 до 15 – рідкими вуглеводнями та від 16 і вище являють собою тверді речовини, які знаходяться у розчиненому стані у нафті і продуктах її переробки.

Загальна кількість парафінових вуглеводнів у нафтах складає 30...35%. У нафтах деяких родовищ вміст алканів може досягти до 40...50%. У різних фракціях однієї і тієї ж нафти вміст алканів зменшується в міру збільшення молекулярної маси фракції і температури кінця її кипіння.

*Нафтові вуглеводні* (рис. 1.3) також є насиченими хімічними сполуками. Вони мають замкнуту хімічну структуру з загальною формулою  $C_nH_{2n}$ , що складається з молекул у вигляді кілець (циклів).

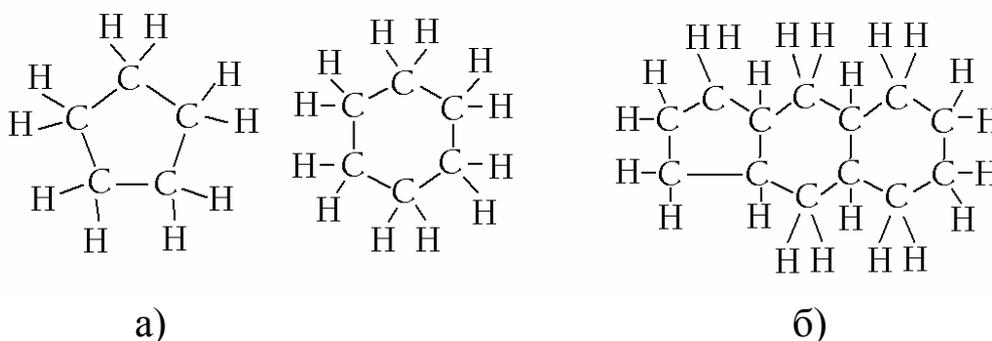


Рис. 1.3. Структура молекул нафтових вуглеводнів:  
а) - моноциклічна будова; б) - поліциклічна будова

Поряд зі складеними з одного кільця моноциклічними нафтовими вуглеводнями (рис. 1.3.а), значна частина цикланів є поліциклічними (рис. 1.3.б), тобто складається з двох чи трьох, рідше чотирьох, зазвичай, злитих (сконденсованих) кілець. У структурі молекул нафтових вуглеводнів можливі комбінації з кілець з однаковим числом атомів вуглецю і змішані комбінації з кілець з 5 і 6 атомами. Деякі моноциклани і поліциклани мають гібридну структуру, у якій до кілець приєднані ланцюжки алканових структур.

## Загальні відомості про одержання рідких палив і масел

За хімічними властивостями і особливо за окислювальною стабільністю нафтові вуглеводні при нормальних температурах практично мають такі ж характеристики, як і нормальні алкани. При високих температурах (400°C і вище) нафтові вуглеводні мають значно більшу хімічну стабільність, наближаючись за стійкістю до ізопарафінових вуглеводнів. На відміну від алканів вони мають низьку температуру плавлення, тому є бажаними компонентами у зимових видах нафтових палив і олив. Нафтові вуглеводні є основною складовою частиною базових олив, забезпечуючи їхню прийнятну в'язкісно-температурну характеристику. При однаковій кількості атомів вуглецю у молекулі нафтові вуглеводні, на відміну від алканів, мають більшу густину і меншу температуру застигання.

У середньому у нафтах різних типів міститься від 25 до 75% нафтових вуглеводнів. В оливних фракціях їхня кількість може досягати 70%.

*Ароматичні вуглеводні* (рис. 1.4) характеризуються циклічною будовою, як і нафтові.

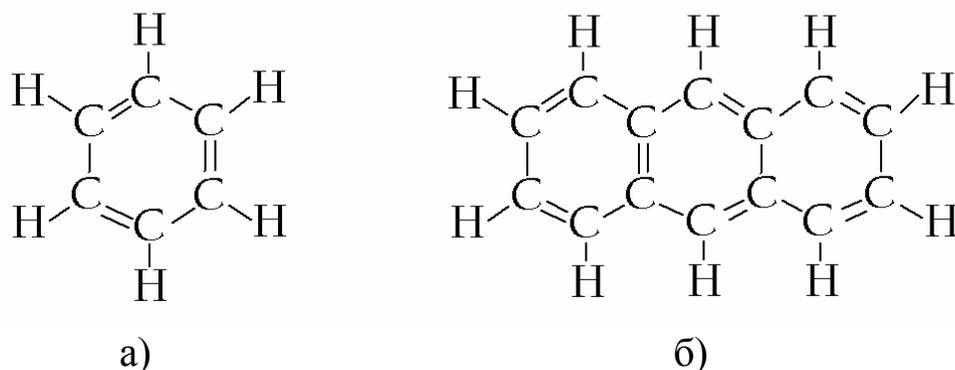


Рис. 1.4. Структура молекул ароматичних вуглеводнів:  
а) - моноциклічна будова; б) - поліциклічна будова

Вони мають у кожному кільці 6 атомів вуглецю, але складаються не з метиленових груп  $\text{CH}_2$ , а з груп  $\text{CH}$ . Тому кожен атом вуглецю має одну подвійну і одну одинарну зв'язки, а молекула виявляється ненасиченою. Цим пояснюються деякі особливості ароматичних вуглеводнів. Арени мають високу стій-

---

---

кість до окислювання, тому їхня присутність у автомобільних бензинах забезпечує підвищення детонаційної стійкості палива. Разом з тим ароматичні вуглеводні небажані у дизельному паливі, тому що вони викликають збільшення періоду затримки запалювання, а це призводить до жорсткої роботи дизеля. Вони значно бідніші на водень, співвідношення вуглець/водень у аренах значно вище, ніж у нафті в цілому. Тому з усіх видів вуглеводнів ароматичні вуглеводні мають найбільш низьку теплоту згоряння. Складні поліциклічні сполуки в ароматичних кільцях з ненасиченими зв'язками вуглець-вуглець складають основу смол, асфальтенів та інших попередників коксу, і будучи вкрай нестабільними, мають підвищену схильність до нагароутворення.

Арени мають високу розчинювальну здатність та найбільшу густину. При коротких бокових ланцюгах вони відрізняються незадовільною в'язкісно-температурною характеристикою. Загальний вміст аренів у нафтах становить 10-20%, і тільки в особливо ароматизованих нафтах може досягати 35%.

Поряд з розглянутими вище індивідуальними вуглеводнями до складу нафти і продуктів її переробки входить значна, навіть переважаюча, кількість вуглеводнів змішаної будови, які є різними комбінаціями парафінових, нафтиєнових і ароматичних вуглеводнів. Схеми молекул основних видів таких "гібридних" вуглеводнів наведено на рис. 1.5.

У продуктах переробки нафти, особливо у бензинах термічного крекінгу, утворюються ненасичені вуглеводні.

*Ненасичені вуглеводні* характеризуються наявністю подвійних і потрійних зв'язків між атомами вуглецю. Вони являють собою парафінові ланцюги різної довжини. Найчастіше у нафтопродуктах присутні олефірові вуглеводні (алкени) із загальною хімічною формулою  $C_nH_{2n}$ , наприклад, бутен  $C_4H_8$ , який має один подвійний зв'язок, або бутадієн  $C_4H_6$  – із двома подвійними зв'язками (рис. 1.6).

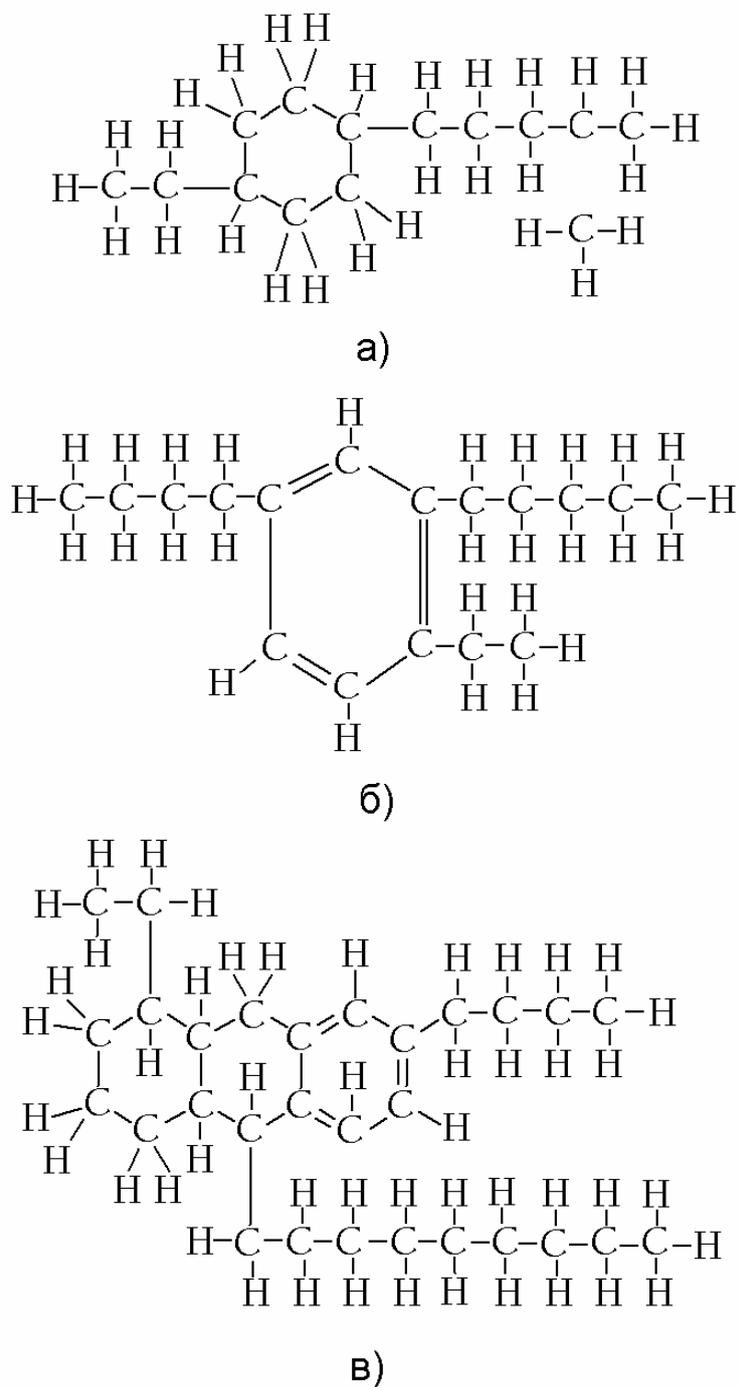


Рис. 1.5. структура молекул вуглеводнів змішаної будови:  
а) – нафтно-парафінові вуглеводні;  
б) – ароматико-парафінові вуглеводні;  
в) – нафтово-ароматичні вуглеводні

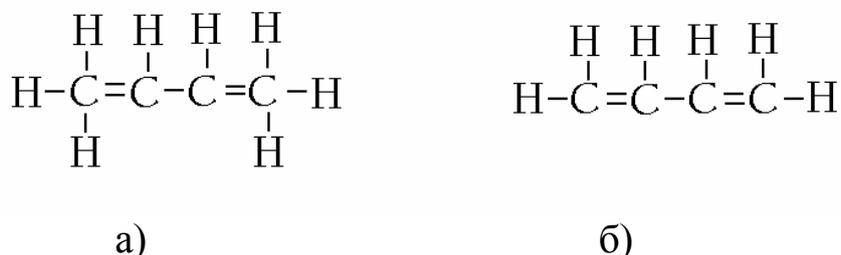


Рис. 1.6. Структура молекул ненасичених вуглеводнів:  
 а) - з одним подвійним зв'язком; б) - з двома подвійними зв'язками

Специфіка хімічних властивостей ненасичених вуглеводнів визначається наявністю подвійних зв'язків у їхніх молекулах. Подвійний зв'язок, з його здатністю до легкого розриву, обумовлює низьку хімічну стабільність алкенів. Вони легко вступають в реакцію приєднання, що є причиною їхнього швидкого окислювання і окислювальної полімеризації. У результаті таких реакцій у нафтопродуктах, особливо у паливі, накопичуються високомолекулярні смолисто-асфальтові речовини, які різко погіршують їхні властивості. Присутність ненасичених вуглеводнів у нафтопродуктах небажана.

Поряд з розглянутими вуглеводнями у нафтопродуктах міститься деяка кількість похідних вуглеводнів. У паливо і мастильні матеріали вони переходять із сирової нафти у вигляді сірчистих і кисневих сполук.

*Сірчисті сполуки* містяться практично у всіх нафтах, які добуваються у даний час. Вміст сірки у фракціях нафти залежить від температури її кипіння. Найбільша кількість сірчистих сполук (70-90%) концентрується у залишкових фракціях – мазуті та гудроні.

Сірка негативно впливає на експлуатаційні властивості нафтопродуктів, тому її вміст є важливим критерієм для оцінки якості нафти. Характер сірчистих сполук, що зустрічаються у різних нафтах і навіть у одній нафті, дуже різноманітний. Звичайно ці сполуки тісно пов'язані з ароматичними вуглеводнями.

У складі палив і мастильних матеріалів сірчисті сполуки можуть знаходитися у вигляді активних і неактивних сполук. До активних відносяться вільна сірка і сірчисті сполуки (сірководень  $H_2S$ , меркаптани  $RSH$ , де  $R$  - вуглеводневий радикал), які викликають корозію металів при нормальних умовах.

Неактивні сірчисті сполуки (сульфіди, дисульфідиди, полісульфіди, тіофани та ін.), які також можуть знаходитися у нафтових паливах, самі не впливають на корозійну агресивність матеріалів, однак продукти їхнього згоряння, в основному діоксид сірки, викликають корозійне зношування деталей двигуна.

Негативна дія неактивних сірчистих сполук проявляється у паливах при їхньому згорянні, коли сірчані і сірчисті ангідриди утворюють з водяною парою корозійно-агресивні продукти - сірчану і сірчисті кислоти. Сірчисті сполуки знижують детонаційну стійкість бензинових фракцій і ефективність дії антидетонаторів. Зі збільшенням вмісту сірчистих сполук збільшується схильність палив до нагароутворення.

*Кисневі сполуки* у нафті і продуктах її переробки можуть бути двох основних категорій: органічні кислоти та асфальто-смолисті речовини. Основну частину кисневих сполук складають органічні кислоти (головним чином нафтеніві кислоти). Ці речовини є складними органічними сполуками з великою молярною масою, до складу яких можуть входити сірка й азот.

*Нафтеніві кислоти* ( $C_nH_{2n-1}$  і  $COOH$  - карбонові кислоти нафтеніві ряду) є похідними нафтенівіх вуглеводнів. Вони вилучаються при переробці нафти, але у незначній кількості можуть переходити у кінцеві продукти. Основна кількість нафтенівіх кислот міститься у висококиплячих (понад  $200^\circ C$ ) фракціях нафти.

Органічні кислоти мають меншу корозійну агресивність, ніж мінеральні. Найбільш ефективно вони взаємодіють з кольоровими металами. З підвищенням температури, особливо при наявності води, їхня агресивність зростає.

*Асфальто-смолисті речовини* містяться в різних кількостях у всіх нафтах. У паливно-мастильні матеріали може перейти із сирової нафти незначна кількість смол, асфальтени ж, як правило, вилучаються повністю у процесі виробництва олив. Однак, внаслідок окислювання нафтопродуктів під час їхнього транспортування, зберігання та використання, вміст асфальто-смолистих речовин може значно зрости. Смоли, і особливо асфальтени, мають високу барвну здатність. Вони утворюють в оливах справжній розчин і додають йому темного забарвлення.

Смоли являють собою тягучі, напіврідкі речовини темно-жовтого або коричневого кольору. Вони добре розчиняються в оливі, петролейному ефірі, легкому бензині, бензолі та хлороформі. Ці речовини відрізняються низькою хімічною стабільністю; окислюючись у процесі роботи двигуна, загущуються і перетворюються у асфальтени.

Асфальтени є продуктами полімеризації смол. Це тверді, крихкі речовини, які не плавляться при підвищених температурах. Асфальтени розчиняються у нафтових смолах, бензолі та хлороформі, але не розчиняються у петролейному ефірі й легкому бензині.

## **2.2. Основні способи одержання палив і масел з нафти**

Виробництво палив і масел – складний процес, який включає отримання первинних компонентів, їх змішування та покращення присадками до товарних показників.

Розрізняють три основних варіанти переробки нафти: паливний, паливно-масляний та комплексний (нафтохімічний). Вибір варіанту переробки нафти визначається її властивостями, потребами в нафтопродуктах і рівнем розвитку нафтопереробної промисловості. Якщо паливний та паливно-масляний варіанти спрямовані на одержання з нафти палив та масел, то при нафтохімічному, крім того, ще одержують і нафтохімічну сировину (індивідуальні парафінові вуглеводні, олефіни, ароматичні вуглеводні, рідкий і твердий парафіни). З

нафтохімічної сировини в свою чергу виробляють велику кількість цінних продуктів, що знаходять широке застосування в промисловості, сільському господарстві, медицині та побуті: пластмаси, синтетичні волокна, миючі засоби, білково-вітамінні концентрати, спирти, кислоти тощо. Цей варіант переробки нафти найбільш перспективний.

Незалежно від варіанту розрізняють способи переробки нафти: фізичні (первинні) і хімічні (вторинні). При фізичних способах переробки нафти структура молекул вуглеводнів, що входять до її складу не змінюється. При хімічних – вуглеводний склад нафтопродуктів відрізняється від складу нафти.

До фізичних способів переробки нафти відносять: електрознесолюючі установки (ЕЛОУ) і пряму перегонку на атмосферно-вакуумних трубчастих установках (АВТУ).

ЕЛОУ призначені для видалення залишків води і розчиненої в ній солі, а також мінеральних (водорозчинних) кислот. Знесолювання заключається в тому що нафту змішують з водою і деемульгаторами, а також з лугами за умови, що в ній є кислоти. Потім суміш нагрівають до  $t = 80...120^{\circ}\text{C}$  і подають в електродегідратор, де під дією електричного поля і температури вода і розчинені в нафті неорганічні сполуки відділяються. Після цього нафта надходить на первинну переробку.

Первинна переробка нафти яку проводять на АВТУ (рис. 1.7), дозволяє в одному технологічному процесі здійснювати випаровування і розділення її на окремі складові частини – фракції (дистиляти), що відрізняються температурою кипіння.

Процес розділення нафти на паливні, а мазуту на масляні дистиляти відбувається так. Нафта, що подається насосом 7, під тиском приблизно 1МПа проходить через теплообмінники дистиляторів 6 і далі в невелику випарювальну колону 8, звідки легко кипляча (газоподібна) частина нафти надходить у ректифікаційну колону, а головна маса – в трубчасту піч 1. У печі, проходячи по змійовику нафта нагрівається до температури  $330...350^{\circ}\text{C}$  і частково випаровується. Суміш випарованої нафти

та її частина, що не випарувалася, надходить в ректифікаційну колону 2.

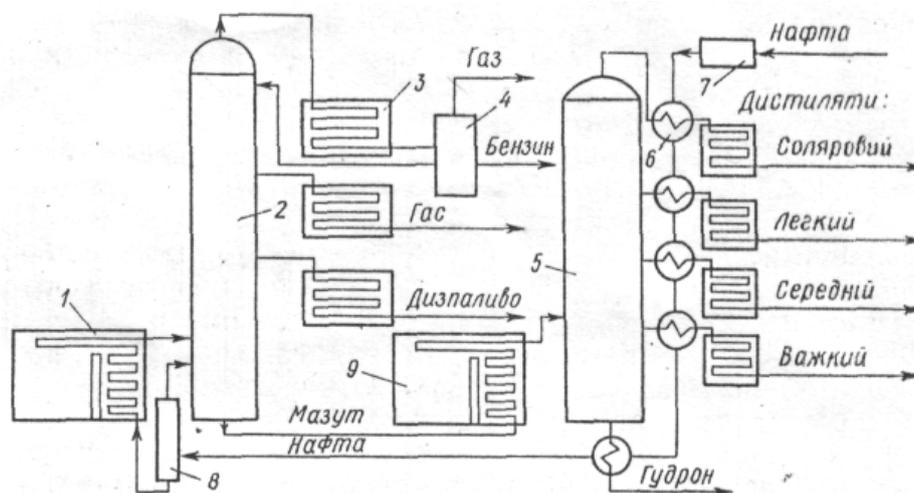


Рис. 1.7. Схема нафтоперегонної установки:

- 1 – трубчаста піч; 2 і 5 – ректифікаційні колони; 3 – холодильники;  
 4 – конденсатор-газовіддільник; 6 – теплообмінник; 7 – насос;  
 8 – випарювальна колона; 9 – вакуумна трубчаста піч

У ректифікаційній колоні відбувається розділення пари нафти на фракції, причому, можна відбирати в одну групу фракції, в яких температура кипіння відрізняється лише на 5...8°C. Найпоширенішими фракціями прямої перегонки є дистиляти: бензиновий 35...200°C, лігроїновий 110...230°C, гасовий 140...300°C, газойлевий 230...330°C і соляровий 280...380°C. Але з точки зору затрат, чим важчі фракції тим дорожче перегонка, нафту спочатку переганяють на широкі фракції. Продуктами такої переробки є: вуглеводневий газ, бензинова, гасова, дизельна фракції та залишок (мазут), який використовується як сировина для одержання масляних дистилятів. Для цього мазут нагрівають у вакуумній трубчастій печі 9, що дозволяє знизити температуру кипіння та повніше з нього випарувувати (без розщеплення) масляні фракції до температури 420...430°C. У ректифікаційній колоні 5, залежно від варіанту переробки нафти одержують широку масляну фракцію – вакуумний газойль, або вузькі масляні дистиляти для виробництва різних масел. Залишок – гудрон, а при менш

## Загальні відомості про одержання рідких палив і масел

глибокій перегонці – напівгудрон, після відповідної очистки використовують для виготовлення високов'язких (залишкових) масел. Принципові схеми одержання палив і масел з нафти наведено на рис. 1.8 та 1.9.

З метою збільшення виходу з нафти паливних фракцій здійснюють хімічні деструктивні (вторинні) способи її переробки – розщеплені важких вуглеводневих молекул на більш легкі. Такий процес перетворення вуглеводнів називають крекінг-процесом.

Розроблені і знайшли застосування кілька видів крекінгу: термічний, каталітичний, гідрокрекінг, каталітичний риформінг.

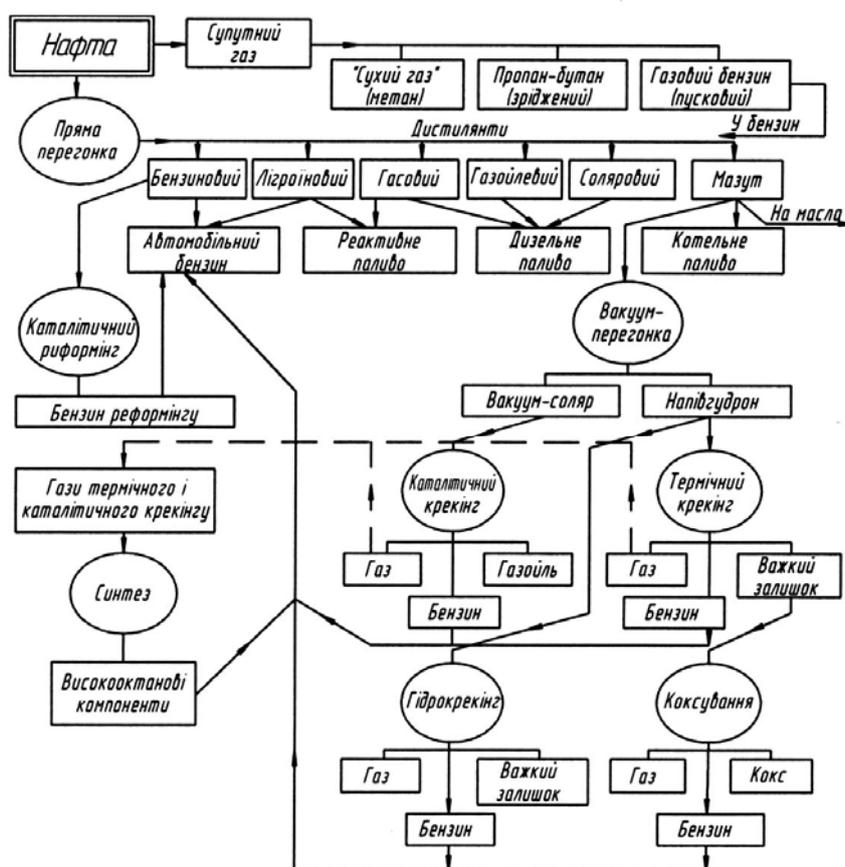


Рис. 1.8. Принципова схема одержання нафтового палива

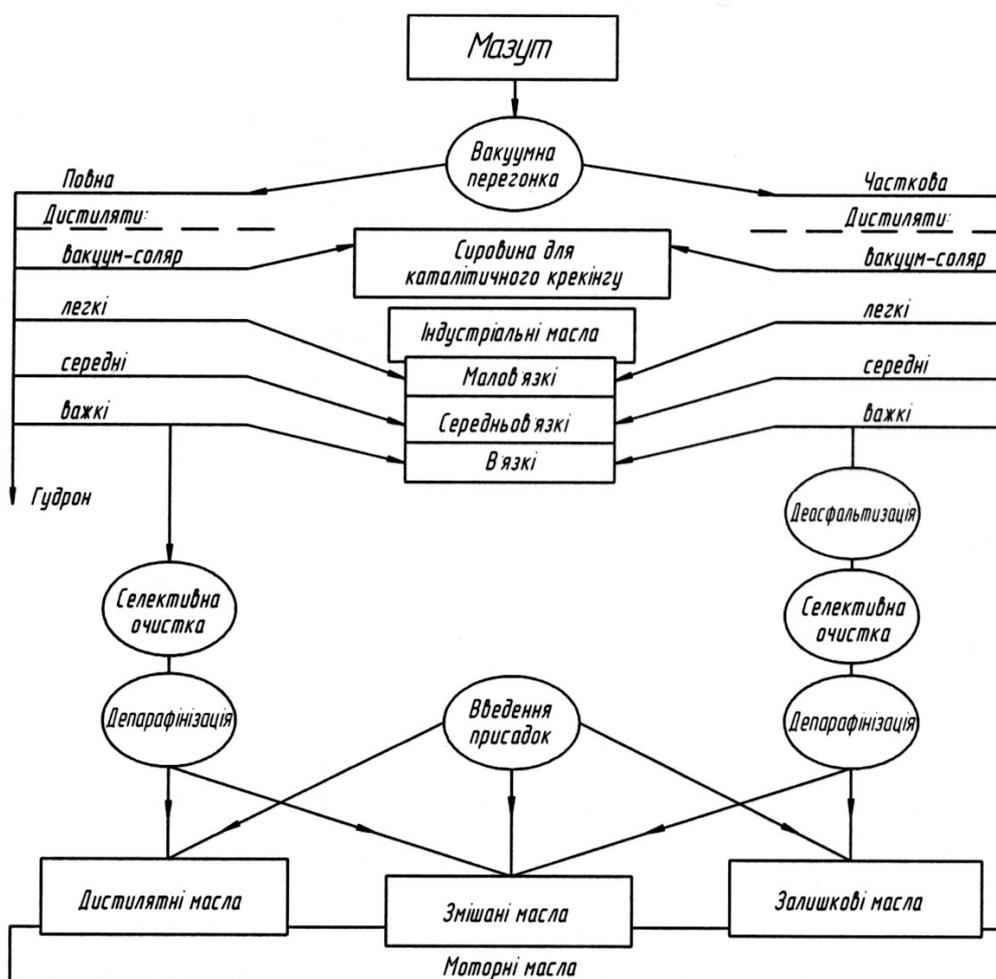


Рис. 1.9. Принципова схема одержання нафтових масел

*Термічний крекінг* – такий вид деструктивної переробки нафтової сировини, при якому розщеплення та зміна структури вуглеводнів відбувається під дією температури і тиску.

Сировиною для термічного крекінгу (температура 470...540°C, тиск 2...7 МПа) є вуглеводні великої молекулярної маси (мазут, гудрон, важкі газойлі каталітичного крекінгу). Вуглеводні розщеплюються із утворенням більш легких фракцій (газ, бензин, гас, газойль) і крекінг-залишку. Вихід продукції залежить від виду сировини та режиму процесу: при крекінгу (мазуту одержують бензину 25...30%, вуглеводневого газу до

## Загальні відомості про одержання рідких палив і масел

---

---

10%, гасово-газойлевих фракцій до 30% і крекінг-залишок; а при крекінгу газойля до 60% бензину.

Різновидом термічного крекінгу є вісбкрекінг (легкий крекінг) – процес перетворення гудрону в котельне паливо з низькою в'язкістю і температурою застигання.

Другим різновидом термічного крекінгу є коксування - процес одержання дистилляту широкого фракційного складу і нафтового коксу з мазуту, гудрону тощо. Коксування відбувається при температурі 505...515°C і тиску 0,2...0,3 МПа.

У даний час термічний крекінг через низьку якість палив, одержаних цим способом (вони не забезпечують вимоги сучасних двигунів), майже повністю витіснений іншими сучасними способами вторинної переробки нафти.

*Каталітичний крекінг* – основний сучасний спосіб одержання високоякісного бензину з важких фракцій. Від термічного він відрізняється режимом (температура 450...550°C, тиск 0,1...0,3 МПа) і наявністю каталізаторів, в присутності яких процеси деструкції ідуть у напрямку утворення ізомерних, насичених, найцінніших для бензину вуглеводнів. Каталізаторами служать алюмосилікати, цеоліти тощо, які відзначаються пористою структурою (1 г каталізатора має активну поверхню до 400...500 м<sup>2</sup>), що забезпечує їм високу активність. Основною сировиною каталітичного крекінгу є вакуумні дистилляти, іноді гасово-газойлеві фракції прямої перегонки. В результаті каталітичного крекінгу одержують продукти, в яких вміст ізопарафінових і ароматичних вуглеводнів доходить до 55 %, нафтенів - 20...25%.

Загальний вихід бензинових фракцій досягає 50% і більше, їх октанове число 78...85 (за моторним методом) або 87...91 (за дослідним).

*Каталітичний риформінг* призначений для підвищення детонаційної стійкості бензинів і одержання ароматичних вуглеводнів. Це основний спосіб виробництва високооктанових бензинів (АИ-95, АИ-98). Основною сировиною установок

---

---

каталітичного риформінга є бензинові фракції прямої перегонки. В перспективі планується використовувати як сировину бензин гідрогенізації вугілля та сланців, а також бензин із синтез-газу. Риформінг здійснюють при температурі 470...530°C і тиск 2...4 МПа в присутності молібденового (гідроформінг) або платинового (платформінг) каталізаторів у середовищі водню. Платформінг, як більш зручний і безпечний процес, суттєво витіснив гідроформінг.

*Гідрокрекінг* – процес, призначений для одержання світлих нафтопродуктів – бензину, гасу, дизельного палива, а також зріджених газів при переробці нафтової сировини, яка має більш високу молекулярну масу (газойль, нафтовий залишок) під тиском водню.

*Гідрокрекінг* являє собою різновид каталітичного крекінгу в присутності водню (температура 360...440°C, тиск 15...17 МПа) і алюмокобальто-молібденового або алюмонікельмолібденового каталізаторів. Октанове число бензинових фракцій гідрокрекінгу 85...88 (за дослідним методом).

Серед способів виробництва палив і їх компонентів заслуговує на увагу переробка нафтових газів (супутніх та газів нафтопереробки): алкілування, полімеризація, ізомеризація.

*Алкілування* – процес одержання алкілбензину, високооктанових компонентів бензину каталітичним приєднанням алкільних радикалів (алкілуванням) з ізобутану, бутілену і пропілену. Каталізаторами служать концентрована сірчана кислота або безводний фтористий водень. Процес відбувається під тиском 0,35...0,60 МПа і температурі 5...15°C. В результаті цього одержують легкий алкілат – високооктановий компонент бензину (октанове число 91...95 за моторним методом) і важкий алкілат – (використовують як розчинник або компонент дизельного палива).

*Полімеризація* – процес одержання низькомолекулярних полімерів, які застосовуються для виробництва моторних палив. Сировиною для полімеризації є пропан-пропіленова і бутан-бутиленова фракції. Процес здійснюється при температурі

190...230 °С, тиску 1,7...8,0 МПа у присутності каталізаторів. Продукція – полімербензин (октанове число 82...97 за моторним методом), а також високооктанові його компоненти (ізогексани) з октановими числами 81...85 за моторним методом. Недоліком полімербензинів є низька їх хімічна стабільність.

*Ізомеризація парафінових вуглеводнів* – процес призначений для підвищення октанового числа пентан-гексанових фракцій бензинів і відбувається при температурі 360...440°С, тиску 2...4 МПа у присутності водню та каталізаторів. Продукцією ізомеризації є ізопарафінові вуглеводні, як високооктанові компоненти автомобільних бензинів та індивідуальні вуглеводні - ізобутан та ізопентан, як сировина для нафтохімії.

### **2.3. Короткі відомості про одержання палив і масел з ненафтової сировини**

Інтенсивний розвиток техніки викликав необхідність розширення сировинної бази для виготовлення палив і масел, оскільки запаси нафти обмежені. Тому ведуться роботи з дослідження технологій виготовлення альтернативних палив і масел (так називають паливно-мастильні матеріали виготовлені з не нафтової сировини). На даний час промисловість освоїла такі способи одержання альтернативних палив і масел: з твердих горючих копалин і газів.

Хімічний склад горючої частини твердих горючих копалин (вугілля, сланці, торф тощо) — це ті ж елементи, з яких складається і нафта: вуглець, водень, сірка, кисень і азот. Наявність вуглецю і водню у твердих горючих копалинах дає можливість використати їх як сировину для одержання рідких палив. Для цього застосовують різні процеси.

*Перегонка смол* на рідке паливо являє собою процес фракційної переробки, аналогічний процесу перегонки нафти. Смоли одержують у результаті термічної переробки і нагрівання твердого пального копалин без доступу повітря. У процесі нагрі-

---

---

вання, що протікає при температурі 500...550°C та зветься напівкоксуванням, утворюються газ, напівкокс і смола напівкоксування. Наприклад, вихід цієї смоли з бурих вугіль складає по масі приблизно 12...22%.

При фракційній перегонці з такої смоли напівкоксуванням одержують 18...22% бензину, 20...25% гасу і 50...60% мазуту, що, у свою чергу, може використовуватися як сировина для крекінг-процесу і цим додатково підвищити вихід світлих палив.

*Деструктивна гідрогенізація* поєднує процеси розщеплення з'єднань вихідної сировини (вугілля, нафтового залишку й ін.) і гідрування їх шляхом приєднання водню для одержання суміші вуглеводнів. При виборі вихідної сировини важливим є співвідношення змісту вуглецю і водню.

Гідрогенізація вугілля дає вихід бензину до 60%, залишків нафти до 73...79%, при цьому газоподібних продуктів виходить відповідно 30 і 20...24%.

*Синтез газів* заснований на одержанні різних вуглеводнів у результаті взаємодії окису вуглецю  $C$  і водню  $H$  при підвищеному тиску та у присутності каталізаторів. Цей процес називають *синтін-процесом*.

При синтезі газів утворюються бензин, газоподібна фракція і конденсована олія. Вихід бензину складає 40...45%, дизельного палива 15...20%, важкої фракції 10...17%. Синтезоване паливо використовується в суміші з паливними фракціями, отриманими прямою перегонкою нафти.

*Одержання синтетичних масел.* Синтезування визначених груп вуглеводів з введенням ряду інших з'єднань дає можливість одержувати високоякісні масла з заздалегідь заданими експлуатаційними властивостями. Такі масла називають синтетичними. Вони однорідні за складом і містять переважно парафінові вуглеводні.

*Полесилоктанові масла (силікони),* що одержали переважне поширення, – це полімерні кремнійорганічні з'єднання, основу яких складають атоми кремнію, що чергуються, і кисню з приєднаними до атомів кремнію вуглеводних радикалів різної

будівлі. Такі масла не втрачають своїх властивостей у широкому діапазоні температур і характеризуються низькою температурою застигання, у порівнянні з нафтовими маслами, володіють високою протикорозійною стійкістю. Разом з тим у них гірше змащувальна здатність.

*Поліанкіленгліколеві* масла мало розташовані до утворення відкладень на деталях, володіють гарною змащувальною здатністю і необхідними в'язкісними властивостями. У них дуже низька температура застигання (до  $-65^{\circ}\text{C}$ ) та ін.

*Фторевуглеродні і хлорфторовуглеродні* масла призначені для роботи в агресивних середовищах, а також в умовах високих температур. Їх використовують при виготовленні спеціальних пластичних мастил і рідин для гідросистем.

На реторті горючий сланець піддається піролізу при температурі  $480-540^{\circ}\text{C}$ . Кероген сланця розкладається з утворенням газу і пари сланцевої смоли. Процеси сухої перегонки сланців можуть бути розділені на два типи - з прямим і непрямим обігрівачем. Процес, в якому газ, що утворюється, згорає, є типовим процесом з прямим нагрівом (наприклад, процес Paraho). Процес компанії TOSCO є єдиним процесом з непрямим обігрівом. Він був випробуваний на напівпромисловій установці продуктивністю 1000 т сланців на добу.

Реторта для сухої перегонки горючого сланця із спалюванням газу (рис. 1.10) є вертикальною фанерованою зсередини вогнетривкою цеглиною камерою, в якій подрібнений сланець безперервно рухається вниз і нагрівається до температури сухої перегонки гарячими газами, що піднімаються вгору, контактують з твердою речовиною. Рециркулюючи газу, що подаються вниз реактора, охолоджують відходи сухої перегонки сланця і при цьому самі нагріваються майже до температури перегонки. У точці, на відстані приблизно однієї третини від низу, горючі сланці змішуються з повітрям, що нагнітається, що приводить до їх регульованого згорання. Додаткове тепло, потрібне для сухої перегонки, виходить при

згорянні рециркулюючих газів і деякої частини вуглистих відкладень, що залишаються на зональній частині сланця, що виходить. Гази нагрівають сланець в зоні, розташованій безпосередньо над місцем введення повітря в реторту, до  $480^{\circ}\text{C}$  або вище. При цьому кероген термічно розкладається, виділяючи пари сланцевої смоли і горючі гази. Горючі гази з парами сланцевої смоли, просуваючись вгору, охолоджуються свіжим сланцем, що поступає зверху, виводяться з реторти і прямують в систему охолодження і розділення. Розділення сланцевої смоли здійснюється шляхом пропуску охолодженої пари і газів через спеціальний холодильник, звідки частина горючого газу повертається в реторту сухої перегонки. Решта частини газу з теплою згорання  $2930\text{-}3770\text{ кДж/м}^3$  використовується як низькокалорійне паливо.

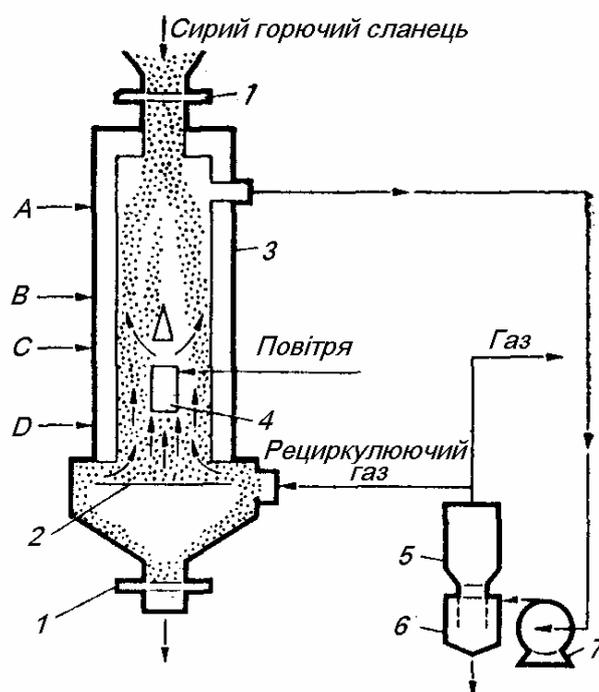


Рис. 1.10. Схема установки для сухої перегонки горючого сланця зі спалюванням газу:

1-газове ущільнення; 2-дисковий живильник; 3-реторта; 4-змішувальна камера; 5-електростатичний змішувач; 6-відцентровий сепаратор; 7-повітродувка. Зони: А-охолодження продуктів розпаду керогена; В-сухої перегонки; С-спалювання газу; D-теплообміну

## Загальні відомості про одержання рідких палив і масел

При сухій перегонці сланців утворюється і вода в кількості 8-20 л на тону породу. Пари виводяться з реактора з обшин потоком. Велика їх частина конденсується разом з парами сланцевої смоли. Після відділення вода містить різні органічні і неорганічні речовини, які повинні бути видалені перед її подальшим використанням для гасіння зольної частини сланця, що виводиться з реторти після розкладання керогена. Піч, використовувана в процесі Paraho, аналогічна реторті для сухої перегонки сланця, але оснащена розподільними ґратами, що дозволяють нагнітати газ для нагріву вмісту реторти на різних рівнях.

Процес компанії TOSCO (рис. 1.11) використовує піч непрямого нагріву, в якій тепло сланця передається через нагріті керамічні кулі. Порода подрібнюється, заздалегідь підігривається і прямує в завантажувальний пристрій печі з керамічними кулями, нагрітими газами, що відходять. Піч, де протікає піроліз сланця, являє собою барабан, що обертається, в якому порода нагрівається керамічними кулями до  $480^{\circ}\text{C}$  за рахунок конвекції і випромінювання. Відбувається розкладання керогена з утворенням пари сланцевої смоли і газів. На зольному залишку зберігаються вуглисті відкладення. Продукти, що виходять з печі, прямують для відокремлення керамічних куль від зольної частини сланця. Гарячі пари газу прямують в колонку, в якій суміш частково конденсується і розділяється на воду, сланцеву смолу і горючий газ з теплотою згорання близько  $3300 \text{ кДж/м}^3$ .

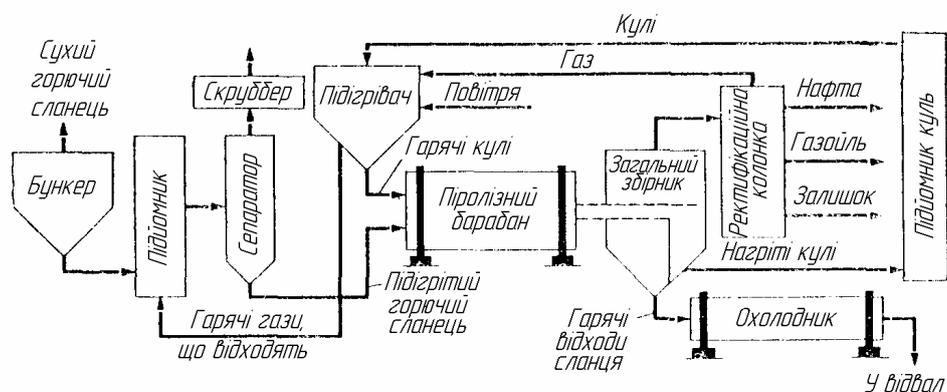


Рис. 1.11. Схема процесу TOSCO

---

---

Відокремлені керамічні кулі прямують елеватором в підігрівач, в якому вони нагріваються до  $670^{\circ}\text{C}$  спалюванням частини горючого газу, що отримується в процесі, і повертаються в цикл.

Відокремлювана вода використовується для гасіння зольної частини сланця. Заздалегідь вона очищається. На тонну сланця, що переробляється, доводиться 8-19 л води. На установці продуктивністю  $7950\text{ м}^3/\text{добу}$  сланцевої смоли, що переробляє горючий сланець із змістом по Фішеру 95 л смоли на тону, утворюється  $650\text{-}1600\text{ м}^3$  води на добу.

Підземна переробка сланців. Ряд нафтових компаній і Гірське бюро США протягом декількох років проводили експерименти по підземному виробництву сланцевої смоли. Для цього горючі сланці безпосередньо в пласті нагрівалися до температури сухої перегонки  $450\text{-}540^{\circ}\text{C}$  шляхом спалювання частини сланця або введенням горючих газів, наприклад природного газу, або перегрітої водяної пари як теплоносія.

Основною перевагою підземної переробки горючих сланців є те, що в цьому випадку виключається необхідність його здобичі, транспортування до установки сухої перегонки і видалення зольної частини, що залишається після сухої перегонки сланця як відхід.

При наземній переробці сланців доводиться видобувати з надр дуже велику кількість породи. Наприклад, для виробництва одного кубометра сланцевої смоли з горючою сланця, що містить 95 л її на тону, необхідно добути, транспортувати і подрібнити 6,3-9,4 т породи. Для забезпечення роботи установки по виробництву  $15,9\text{ тис. м}^3$  сланцевої смоли на добу необхідно щодоби подавати на установку 150 тис. т подрібненого сланця.

На найбільших в світі шахтах з підземною переробкою щодобова продуктивність складає 60 тис. т, а з відкритою здобиччю в кар'єрі - близько 300 тис. т/добу; 80% що переробляється наземним способом горючого сланця йде у відхід, як зольний залишок. Трудність видалення відходу

## Загальні відомості про одержання рідких палив і масел

---

---

зростає у зв'язку з тим, що його об'єм приблизно на 12% більше об'єму горючою сланця.

Для підземної сухої перегонки горючого сланця потрібний спосіб проникнення в пласт і нагнітання теплоносія, що забезпечувало б піроліз керогена безпосередньо в пласті.

Горючий сланець має низьку теплопровідність (подібно до вогнетривкої цеглини). У зв'язку з цим доводиться користуватися ефективним тепловим потоком.

У одному з випробуваних методів підземної сухої перегонки в горючому сланці були пробурені свердловини, аналогічні тим, якими в даний час користуються для заводнювання або нагнітання газу в нафтові колектори. Такі схеми зазвичай складаються з центральної нагнітальної свердловини, оточеної експлуатаційними, або продуктивними, свердловинами. Між свердловинами потрібне створення горизонтальних розривів з метою утворення проходів повітря, що забезпечує горіння, або горючим газам і для переміщення пари сланцевої смоли до продуктивної свердловини. Інтервали між свердловинами залежать від природних розривів, відстані між розривами, характеру залягання пластів і загальної економіки.

Проникність родовищ горючих сланців дуже незначна або взагалі відсутня. Можливо, що найбільше значення при підземній переробці горючих сланців має забезпечення достатньої проникності родовища. Для цього можуть використовуватися вибухи (ядерні або звичайні), гідравлічні і електророзриви пласта, комбінації тих або інших методів і вимивання породи.

Недавно здобув популярність метод Герретта, що полягає в підземній підготовці родовища і сухої перегонки в ньому. Для його здійснення потрібний пласт горючого сланця достатньої потужності, розташований на достатній глибині. В цьому випадку 10-25% горючого сланця, що знаходиться в наміченій ділянці родовища, здобувається звичайним камерноствобовим

способом і транспортується до установки для сухої перегонки. Потім на виробленні бурять вертикальні свердловини, набивають їх вибуховими речовинами, які підривають. Порожнистий простір заповнюється роздробленим сланцем, який піддається сухій перегонці під землею шляхом циркуляції через цей шар спалюваного газу або теплоносія у вигляді гарячих газів. Пари сланцевої смоли, що утворюються, і гази витягуються на поверхню для подальшої переробки.

Таблиця 1.6

Властивості сланцевої смоли, отриманої в процесі TOSCO і звичайної нафти

| Параметри   | Звичайна нафта                | Сланцева смола, отримана в процесі TOSCO |
|---|-------------------------------|--|
| Щільність, Н/м <sup>3</sup>   | 8,063...9,659                 | 9,218                                    |
| Зміст по масі:  |                               |  |
| - сіри %  | 0,04...4,1                    | 0,8                                      |
| - азоту %   | 0,01...0,65                   | 1,9                                      |
| - нікелю, частин на млн.  | $(0,03 - 45) \cdot 10^{-3}$   | 5  |
| - ванадію, частин на млн.   | $(0,002 - 348) \cdot 10^{-3}$ | 3  |
| - миш'яку, частин на млн.   | $(0 - 0,030) 10^{-3}$         | 40                                       |
| В'язкість в універсальних секундах Сейболда при 37,8 <sup>0</sup> С | 31 - 1025                     | 106                                      |
| Коксуємість по Конрадсону, % по масі                                | 0,1 - 11,4                    | 4,6                                      |
| Бромисте число  | Дуже мале                     | 49,5                                     |

Переробка сланцевої смоли. Сланцева смола відрізняється високою щільністю, середнім вмістом сірі, високим вмістом азоту і високим вмістом ненасичених вуглеводнів (табл. 1.6). В'язкість і температура застигання сланцевих смол вищі, ніж у багатьох нафтових фракцій з тією ж щільністю.

Для того, щоб сланцеву смолу можна було транспортувати по трубопроводах в холодну погоду, необхідно понизити її

в'язкість і температуру застигання до певного рівня, а отже, буде потрібно використання таких додаткових процесів, як вісбрекінг, каталітичне гідроочищення або гідрокрекінг, які повинні здійснюватися на установці або поблизу установки сухої перегонки горючих сланців. Кажучи взагалі, виробництво задовільного автомобільного палива з горючих сланців пов'язане з глибшою переробкою і великими витратами, чим виробництво відповідного автомобільного палива з нафти.

Вісбрекінг є процесом помірною крекінгу, при якому руйнуються важкі парафінові і олефінові молекули на молекули з меншою молекулярною масою. Тим самим знижується в'язкість і температура застигання сланцевої смоли. Цей процес виконує дві ролі: забезпечує задовільне перекачування продукту по трубопроводах в холодну погоду і знижує витрати на перекачування протягом всього року.

Каталітичне гідроочищення сланцевої смоли в районі установки сухої перегонки сланців дозволяє виключити деякі процеси переробки, які довелося б проводити, якби сланцева смола в районі установки сухої перегонки піддавалася вісбрекінгу. Недоліком цього процесу є те, що для його здійснення потрібна значна кількість водню або, використання легкої частини продукту для виробництва водню. Каталітичне гідроочищення дозволяє понизити не тільки в'язкість і температуру застигання продукту, але і вміст сірі, азоту і донаситити ненасичені компоненти воднем.

Існує цілий ряд процесів, що включають каталітичне гідроочищення, які можуть бути використані для підвищення якості сланцевої смоли. У програмах з довілля охорони і видачі ліцензій від забруднень на переробку горючих сланців, розроблених спеціальною групою по горючих сланцям Державної нафтової ради для технологічних процесів по переробці горючих сланців, передбачається схема, що включає фракціонування, сповільнене коксування і гідрокрекінг. Ця схема розглядається нижче

Згідно цієї схеми, сланцева смола підігрівається і частково випаровується, прямує в дистиляційну колону. У дистиляційній колоні в результаті фракціонування газ відбирається з верху колони, фракції лігроїну і легкого газойля - по висоті колони, а важкий залишок - знизу. Важкий залишок прямує на коксування. Виробництво коксу супроводжується термічним крекінгом сировини з утворенням пари газойля, лігроїну і газу.

Газ з дистиляційної колони прямує на очищення, при якому відділяються сірководень, аміак, низькомолекулярні меркаптани, двоокис вуглецю і низькокиплящіє сульфіді. Решта сірчистих з'єднань потім відділяється на установці по очищенню від сірки.

Лігроїн і газойль піддаються гідроочищенню. При цьому віддаляються сірка у вигляді сірководня, азот у вигляді аміаку і донасичуються ненасичені вуглеводні. Після гідроочищення отримують продукти з невеликим вмістом сірі, азоту, стабільні при зберіганні, які називають синтетичними нафтопродуктами.

#### Властивості очищеної сланцевої смоли

|                             |          |
|-----------------------------|----------|
| Щільність, Н/м <sup>3</sup> | 7,963    |
| Вміст:                      |          |
| - сірі, % по масі           | 0,005    |
| - азоту, % по масі          | 0,035    |
| Температура застигання, °С  | нижче 10 |

В'язкість в градусах Сейболта при 37,8°С 40

Аміак і сірководень розділяються, з сірководня на установці Клауса отримують елементну сірку.

## 2.4. Способи очищення палив

Паливні дистиляти, одержувані при перегонці нафти, не можуть бути використані безпосередньо як товарні палива,

оскільки містять з'єднання, що значно погіршують їхню якість (кисневі, сірчисті й ін.). Бензини ж термічного крекінгу містять, крім того, велику кількість маслостійких неграничних вуглеводнів, здатних легко окислятися і полімеризуватися. У зв'язку з цим для одержання необхідних експлуатаційних властивостей палива очищають від небажаних компонентів та стабілізують.

*Методи очищення* можна розділити на хімічні, при яких шкідливі з'єднання вступають у хімічні реакції з реагентом, що додається в паливо, і фізичні, при яких шкідливі з'єднання розчиняються або адсорбуються спеціальними речовинами. До хімічного відносять способи очищення сірчаною кислотою, лугами, плюмбитами, хлоридами металів і т.д., а до фізичних – застосування селективних розчинників і адсорбентів.

При впливі на паливо сірчаною кислотою виходять продукти реакцій, що віддаляються у виді кислого гудрону, а потім випливають - обробка лугою (водяним розчином  $NaOH$ ), промивання водою і відстоювання для видалення солей, що залишилися в паливі. При нормальній температурі сірчана кислота не вступає в реакцію з парафіновими і нафтовими вуглеводнями. Ароматичні вуглеводні, оскільки очищення палива ведеться невеликою кількістю сірчаної кислоти (0,2...0,8%), також практично зберігаються. Неграничні вуглеводні активно вступають у реакцію із сірчаною кислотою, тому для палив термічного крекінгу, що містять багато неграничних вуглеводнів, застосовують очищення тільки плюмбитами і хлоридами металів.

*Очищення адсорбентами*, в якості яких використовують відбілюючі землі, засноване на явищі адсорбції, тобто виборчому поглинанні окремих з'єднань, що знаходяться в продукті що очищається. Очищення проводять, пропускаючи пари палива через спеціальний шар відбілюючої землі, витрата адсорбенту при цьому складає 1...2% маси палива. Дослідженнями встановлено, що відбілюючі землі діють також

каталітично, викликаючи реакції полімеризації ненасичених вуглеводнів і частково реакції ізомеризації.

*Гідрогенаційне очищення* є найбільш ефективним способом очищення палива від сірчистих з'єднань та інших шкідливих домішок. Таке очищення здійснюється в присутності водню і каталізаторів.

*Хімічну стабільність палив*, що містять значну кількість неграничних вуглеводнів, підвищують, додаючи до них у дуже невеликих дозах спеціальні речовини - антиокислювачі, що гальмують процеси окислювання та осмолення. Як анти окислювачі застосовують а-нафтол, фенольні фракції деревної смоли (240...310 °С), параоксидифеніл.

## 2.5. Способи очищення масел

Масляні дистиляти, одержані перегонкою мазуту, через зміст ряду з'єднань (смолисто-асфальтові речовини, органічні кислоти, що легко окисляються і полімеризуються неграничні вуглеводні) без відповідного очищення не можуть застосовуватися як товарні масла. Найпоширенішими способами очищення масляних дистилятів служать кислотно-лужний, кислотно-контактний, селективний, а також процеси деасфальтизації і депарафінізації масел.

*Кисотно-лужне очищення* масел аналогічне відповідному очищенню палив, але для нього потрібно більше реагенту – сірчаної кислоти (від 3 до 6% для дистиляційних і до 7...10% для залишкових масел). Після відділення кислого гудрону масло обробляється водяним розчином лугу (*NaOH*), промивається водою для розчинення і видалення солей і потім просушується гарячим повітрям.

*Кисотно-контактне очищення* здійснюється після очищення масла сірчаною кислотою і полягає у тому, що масло йде не на лужне, а на контактне очищення відбілюючими глинами, в результаті якого відбувається адсорбування з масла полярно-активних компонентів, у тому числі органічних компонентів і

сульфоокислот, залишків сірчаної кислоти, кислого гудрону і т.д. У якості відбілюючих глин застосовуються гум-брин, зикейвська земля, силікагель і ін. Кількість адсорбенту при очищенні складає від 3 до 5% маси палива.

*Селективне очищення* припускає застосування спеціальних селективних (виборчо-діючих) розчинників, що не впливаючи на основні вуглеводні компоненти розчиняють небажані компоненти масел. При наступному відстоюванні розчин розширюється на рафінатний шар з очищеного масла та екстрактний, що представляє собою суміш розчинника і вилучених з масла шкідливих з'єднань. Екстрактну частину після очищення масла піддають розгонці; відігнаний розчинник може бути використаний повторно. В якості селективних розчинників застосовують фурфурол, фенол, нітробензол, технічним пропан і ін.

*Деасфальтизацію* застосовують, коли в маслі багато смолисто-асфальтових речовин, що ускладнює сірчаноокислотне або селективне очищення. Тому такі масла попередньо піддають деасфальтизації, яку проводять за допомогою спеціальних розчинників (зокрема, рідкого пропану), що осаджують смолисто-асфальтові речовини. Після, видалення осаду масло направляють на основне очищення.

*Депарафінізація* має на меті видалення з масляного дистиляту парафіністих нафтових вуглеводнів, що кристалізуються при зниженні температури. Процес депарафінізації заснований на тому, що парафіни і церезини значно гірше розчиняються в деяких легких розчинниках, чим основні вуглеводні масла, особливо при низькій температурі. Депарафінізація звичайно завершує процес очищення масла.

### **2.6. Загальні показники фізико-хімічних і експлуатаційних властивостей нафтопродуктів**

Для успішного вирішення проблем якості і ефективного використання паливо-мастильних матеріалів першочергове

---

---

значення має оцінка їх властивостей. Вимоги до якості паливо-мастильних матеріалів визначаються показниками якості, які вказані в нормативно-технічній документації. В хімотології всі властивості нафтопродуктів поділяють на найбільш важливими ознаками на фізико-хімічні і експлуатаційні.

Фізико-хімічні властивості нафтопродуктів визначаються стандартними методами аналізів в лабораторних умовах. До цих показників відносять густину, випарність, температури спалаху, помутніння, застигання, вміст механічних домішок, води тощо.

Експлуатаційні властивості характеризують продукт безпосередньо у вузлі, агрегаті, механічні. До них відносять детонаційну стійкість, схильність до нагаро-лако- і осадкоутворень (стабільність), миючі, корозійні, протиспрацювальні та інші властивості.

Якість нафтопродуктів залежить не тільки від їх елементного і групового хімічного складів, способу одержання і очистки, але і від їх фізико-хімічних і експлуатаційних властивостей. Не всі показники якості рівноцінні. За одними можна проконтролювати відповідність даного нафтопродукту вимогам стандарту, а за іншими – реально уявити, якими будуть результати його застосування в експлуатації. Кожний з цих показників по-своєму важливий, тому сукупність їх дозволяє оцінити якість нафтопродуктів. Нижче наведені лише загальні показники якості фізико-хімічних і експлуатаційних властивостей нафтопродуктів.

*Густина* - це маса речовини, яка міститься в одиниці об'єму. В системі СИ густина вимірюється в  $\text{г/см}^3$ , але на практиці найчастіше мають справу з безмірною величиною - відносною густиною. Це - відношення маси речовини, при температурі визначення, до маси води при  $4^\circ\text{C}$ , при однаковому їх об'ємі. Густина води при  $4^\circ\text{C}$  прийнята за одиницю.

У стандартах передбачається визначати відносну густину при  $20^\circ\text{C}$  ( $\rho_4^{20}$ ). У тих випадках, коли температура

## Загальні відомості про одержання рідких палив і масел

визначення густини відрізняється від 20°C одержане значення густини при t °C, приводять до стандартної за формулою:

$$\rho_4^{20} = \rho_4^t + \nu(t - 20), \quad (1.24)$$

де  $\nu$  - температурна поправка на 1 °C (знаходять за розрахунковими таблицями; змінюється в межах 0,000515...0,000910).

Визначають густину в виробничих умовах з допомогою нафтоденсиметрів рис.1.12, але існують і інші методи, які застосовують при лабораторних випробуваннях (за допомогою пікнометрів, гідростатичних терезів).

Для визначення густини в'язких рідин, коли неможливий безпосередній замір за допомогою нафтоденсиметра, готують суміш рідини, густину якої досліджують, з розчинником відомої густини у відповідному співвідношенні (наприклад 1:2). Визначають густину суміші, а потім перераховують густину в'язкої рідини за формулою

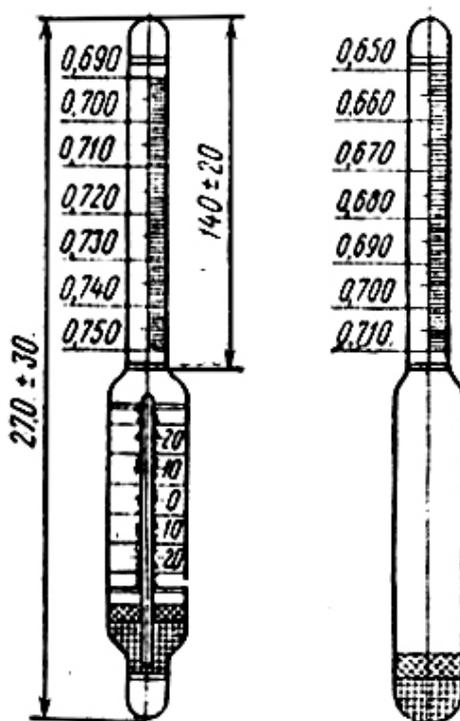


Рис. 1.12. Нафтоденсиметри (ареометри):  
а – з термометром; б – без термометра

$$\rho_x = 3\rho_{\text{сум}} - 2\rho_{\text{розч}}, \quad (1.25)$$

де  $\rho_x$  - густина в'язкої рідини;

$\rho_{\text{сум}}$  - густина суміші;

$\rho_{\text{розч}}$  - густина розчинника.

Густина нафтопродукту – важливий його показник, її необхідно знати для обліку витрати і нормування нафтопродуктів у господарствах, оскільки отримують їх з нафтобази в одиницях маси (кг, т), а при заправці видають в об'ємних одиницях (л). Крім того за густиною можна судити про вид нафтопродуктів та їх змішування між собою.

В таблиці 1.7 наведені значення густини деяких нафтопродуктів.

Таблиця 1.7

## Густина нафтопродуктів

| Вид нафтопродуктів         | Густина, г/см <sup>3</sup> |
|----------------------------|----------------------------|
| Авіаційний бензин          | 0,70...0,725               |
| Автомобільний бензин       | 0,735...0,750              |
| Лігроїн                    | 0,750...0,770              |
| Тракторний керосин         | 0,820...0,835              |
| Освітлювальний керосин     | 0,840                      |
| Дизельне паливо            | 0,835...0,860              |
| Солярне масло              | 0,860...0,880              |
| Дизельне моторне масло     | 0,890...0,920              |
| Авіаційне масло            | 0,880...0,905              |
| Карбюраторне моторне масло | 0,910...0,930              |

*В'язкість* – це властивість рідини чинити опір взаємному переміщенню її шарів під дією зовнішньої сили. Зовнішньою ознакою в'язкості є ступінь рухомості рідини: чим менше в'язкість, тим рідина рухоміша, і навпаки. В'язкість залежить головним чином від хімічного складу і температури

нафтопродуктів. Розрізняють динамічну, кінематичну і умовну в'язкості.

*Динамічна в'язкість ( $\eta$ )* - коефіцієнт внутрішнього тертя. Одиницею вимірювання є Паскаль•секунда (Па•с), яка чисельно дорівнює опору, що виникає при взаємному переміщенні двох шарів рідини площею  $1 \text{ м}^2$ , віддалених на  $1 \text{ м}$  один від одного, з швидкістю  $1 \text{ м/с}$  під дією сили в  $1 \text{ Н}$ . Допускається застосовувати одиницю Пауз - П( $\text{г/см}^2 \cdot \text{с}$ ),  $1 \text{ П} = 0,1 \text{ Па} \cdot \text{с}$ .

Динамічну в'язкість вимірюють в ротаційному або капілярному віскозиметрах. При визначенні динамічної в'язкості в капілярному віскозиметрі заміряють час витікання рідини через капіляр віскозиметра під дією певного тиску (не нижче  $13,3 \text{ кПа}$ ). Динамічну в'язкість розраховують за формулою:

$$\eta_t = c_\tau P, \quad (1.26)$$

де  $c$  – постійна віскозиметра;

$\tau$  – час витікання рідини;

$P$  – середнє значення тиску за манометром.

*Кінематична в'язкість* - питомий коефіцієнт внутрішнього тертя, відношення динамічної в'язкості до густини, при тій же температурі. Одиниця вимірювання -  $\text{м}^2/\text{с}$  або  $\text{мм}^2/\text{с} = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ . Таким чином, якщо динамічна в'язкість є коефіцієнтом внутрішнього тертя, то кінематична в'язкість являє собою удільний коефіцієнт внутрішнього тертя.

Кінематичну в'язкість нафтопродуктів як правило визначають за допомогою капілярних віскозиметрів ВПЖ-1, ВПЖ-2 та віскозиметра Пінкевича. Перший віскозиметр рекомендується для прозорих рідин при позитивних температурах, а другий – для різних рідин в широкому діапазоні температур. Кінематична в'язкість палив дизельних швидкохідних двигунів нормується при  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , тихохідних – при  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ , змащувальних моторних масел – при  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Визначення кінематичної в'язкості в капілярних віскозиметрах засновано на тому, що в'язкість рідин прямо

пропорційна часу протікання однакових їх кількостей через капіляр, який забезпечує ламінарність потоку.

Загальний вид віскозиметра Пінкевича показано на рис. 1.13. Для кожного віскозиметра, що відрізняються один від іншого діаметром капіляра, зазначається його постійна  $C$ , яка являє собою відношення в'язкості  $\nu_{k20}$  (сСт) калібрувальної рідини при  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  до часу  $T_{k20}$  (с) протікання цієї рідини під дією власної маси також при  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  з об'єму  $1$  від мітки  $a$  до мітки  $b$  через капіляр  $2$  в розширення  $3$

$$C = \frac{\nu_{k20}}{T_{k20}} \quad (1.27)$$

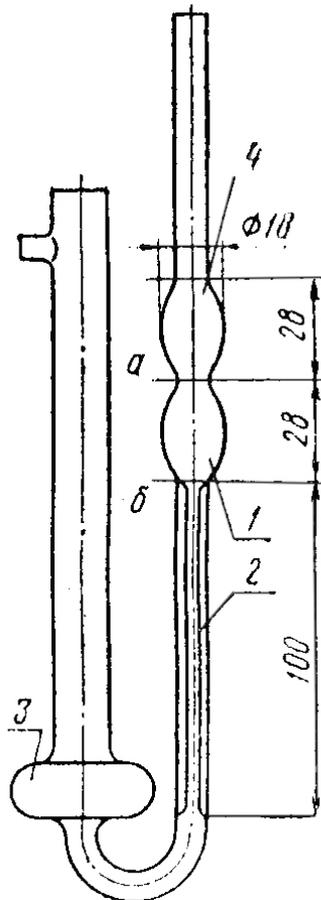


Рис. 1.13. Схема капілярного віскозиметра Пінкевича

Для визначення в'язкості заданого нафтопродукту при температурі  $t$  за допомогою даного віскозиметра, необхідно його постійну  $C$  помножити на час  $T_t$  (с) протягом якого рідина з об'єму розширення  $l$  перетече від мітки  $a$  до мітки  $b$ , тобто

$$\nu_t = CT_t. \quad (1.28)$$

Кількість нафтопродукту для віскозиметра береться в об'ємі двох розширень 1 та 4.

*Умовна в'язкість* - величина, яка показує у скільки разів в'язкість нафтопродукту при температурі вимірювання більша або менша в'язкості дистильованої води при температурі  $20^\circ\text{C}$ . Умовна в'язкість вимірюється в градусах умовної в'язкості ( $^\circ\text{ВУ}$ ).

Для переходу від умовної в'язкості до кінематичної використовують спеціальні таблиці або формулу

$$\nu_t = 10^{-4} \left( 0,0731^\circ\text{ВУ}_t - \frac{0,0631}{^\circ\text{ВУ}_t} \right). \quad (1.29)$$

Умовну в'язкість знаходять за допомогою віскозиметра умовної в'язкості. Визначення базується на замірюванні часу витікання 200 мл нафтопродукту при певній температурі. Умовну в'язкість підраховують за формулою

$$^\circ\text{ВУ} = \frac{\tau''}{c''}, \quad (1.30)$$

де  $\tau''$  – час витікання рідини, с;

$c''$  – постійна віскозиметра, с.

Від в'язкості палива залежать його прокачуваність, сумішоутворення і економічність роботи двигуна, а від в'язкості масла – втрати потужності на тертя та спрацювання (знос) деталей, що труться.

*Механічні домішки і вода* потрапляють у нафтопродукти під час виготовлення, транспортування, зберігання та видачі. Механічні домішки - тверді частинки органічного і

неорганічного походження, які залишаються на паперовому фільтрі після фільтрування певної кількості палива.

Механічні домішки (грунтовий пил, продукти корозії резервуарів, трубопроводів, продукти спрацювання елементів системи живлення тощо) потрапляючи в камери згорання двигунів, спричиняють інтенсивне спрацювання поршневих кілець, стінок циліндрів. Тому стандартами не допускається наявність механічних домішок у рідких і газоподібних паливах, а в маслах суворо обмежується.

Вода в нафтопродуктах може знаходитися в розчиненому і у вільному станах. Кількість води в розчиненому стані залежить від вуглеводневого складу нафтопродукту і її дуже мало. Як правило, вода потрапляє ззовні і знаходиться у вільному стані. Наявність води в нафтопродуктах небажана, тому що вона підсилює корозію металів, прискорює розкладання, спрацювання і вимивання присадок. У зимовий період вода, що знаходиться в нафтопродуктах, утворюючи кристалики льоду, може припинити їх подачу. Тому стандартами не допускається наявність води в рідких і газоподібних паливах, а в маслі її повинно бути не більше 0,03 %.

Вміст води в нафтопродуктах визначають за допомогою приладу, показаного на рис. 1.14. Пробу масла в об'ємі 50 мл розчиняють такою ж кількістю бензину, температура кипіння якого близька до температури кипіння води (близько 100°C). Розчин заливають у колбу 1 і туди ж поміщають кілька шматочків пористої речовини (пемзи) для вирівнювання температури кипіння. При нагріванні відбувається одночасне випаровування бензину та води, яка знаходиться в маслі. Виникаючі пари конденсуються в холодильнику 3, і рідина стікає у відстійник 2. Вода, щільність якої більша щільності розчинника, збирається внизу відстійника, а розчинник над нею. Коли рівень води у відстійнику буде постійним, за градуванням відстійника визначають кількість води, а потім перераховують на процентний вміст.

## Загальні відомості про одержання рідких палив і масел

*Стабільність нафтопродуктів.* Під стабільністю нафтопродуктів розуміють їх здатність зберігати свої властивості в допустимих межах для конкретних експлуатаційних умов. Умовно розрізняють фізичну і хімічну стабільність.

Фізичну стабільність нафтопродуктів визначають як можливість зберігати фракційний склад (зміни викликаються втратою найбільш легких фракцій в результаті випаровування) і однорідність. Фізичну стабільність оцінюють і контролюють періодично, визначаючи густину, фракційний склад, тиск насиченої пари, температуру помутніння і застигання, вміст механічних домішок і води, та інші показники.

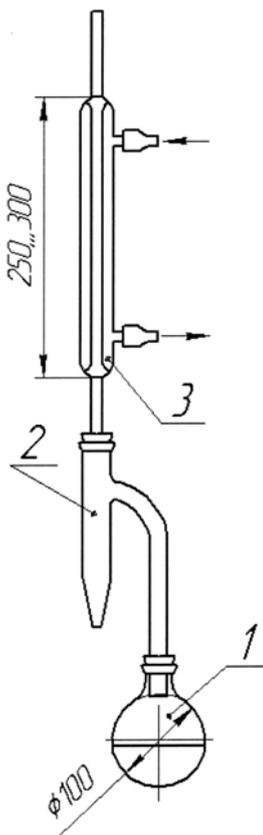


Рис. 1.14. Прилад для знаходження вмісту води в нафтопродуктах

Під хімічною стабільністю нафтопродуктів розуміють їх здатність зберігати без зміни свій хімічний склад, бо в умовах експлуатації та довготривалого зберігання деякі з сполук (сірчисті, азотисті, кисневі, металоорганічні) можуть вступати в

реакції окислення, полімеризації, конденсації, кінцевим результатом яких є накопичення смолистих речовин, лакових відкладень, нагарів.

Хімічна стабільність нафтопродуктів залежить від складу і будови їх вуглеводнів. Найбільш схильні до окислення ненасичені вуглеводні, а парафінові, нафтенові і ароматичні вуглеводні окислюються в умовах зберігання порівняно повільно. Кислі сполуки, що утворилися в результаті окислення, самі є каталізаторами подальшого окислення нафтопродуктів. Тому цей процес оцінюють як самоприскорюючий або автокаталітичний. Окислення з підвищенням температури нафтопродуктів прискорюється. В той же час зі збільшенням молекулярної маси вуглеводнів, що входять в склад нафтопродуктів, їх схильність до окислення зменшується, а схильність до конденсації і полімеризації зростає.

Схильність нафтопродуктів до окислення підвищується в присутності води, наявність якої призводить до накопичення речовин, що діють на процес окислення як каталізатори (солі нафтенових кислот, оксиди заліза тощо). Каталітичну дію на смолоутворення здійснюють також деякі кольорові метали (свинець, мідь).

В результаті окислення нафтопродуктів утворюються розчинні органічні і смолисті речовини. Розрізняють смоли: фактичні і потенціальні.

*Фактичні смоли* - це смолисті речовини, які уже присутні в нафтопродуктах. Вміст фактичних смол нормується стандартами і визначається випаровуванням гарячих повітрям певної кількості нафтопродукту (100 мл) при підвищеній температурі (для бензину 150°C, дизельного палива 250°C) за залишком в мг, одержаним після випаровування.

*Потенціальні смоли* - це смолисті речовини, які можуть утворюватися в процесі окислення і полімеризації, головним чином ненасичених вуглеводів нафтопродукту. Визначення вмісту цих смол в нафтопродуктах ще не має загальноприйнятого методу, тому про потенціальні можливості

їх до смолоутворення свідчить лише показник стабільності, який оцінюється індукційним періодом. Індукційним періодом називають час, протягом якого нафтопродукт, що знаходиться в умовах сприятливих до окислення, не поглинає кисень.

Для підвищення стабільності нафтопродуктів до них додають спеціальні речовини (присадки) - антиокислювачі (стабілізатори), які здатні обривати ланцюгові реакції окислення, тим самим збільшуючи індукційний період. Для зменшення каталітичної дії металів у нафтопродукт додають речовини – деактиватори. Це спеціальні сполуки які нейтралізують каталітичну дію кольорових металів.

*Корозійні властивості.* Одна з основних вимог до нафтопродуктів — це мінімальна корозія металів з якими вони контактують. Під корозією розуміють самовільне руйнування твердих тіл внаслідок хімічних і електрохімічних процесів, що розвиваються на поверхні тіл при їх взаємодії із зовнішнім середовищем. Корозія металів відбувається внаслідок їх взаємодії з хімічно активними речовинами, що містяться в нафтопродуктах (водорозчинні кислоти, луги, органічні кислоти тощо). Від вуглеводнів нафтопродукту метали не кородують.

*Водорозчинні кислоти і луги.* В нафтопродуктах наявність водорозчинних (мінеральних) кислот і лугів не допускається. Однак вони можуть потрапити в нафтопродукти під час їх транспортування, зберігання, а також послаблення контролю за процесом очистки. У таких випадках не виключена присутність в нафтопродуктах сірчаної кислоти і сульфокислот та лугів, які спричиняють сильну корозію чорних і кольорових металів (луги спричиняють корозію алюмінію).

*Органічні кислоти.* Основу органічних кислот складають нафтенові кислоти  $R-COOH$ , які потрапляють в нафтопродукт з важкими фракціями під час перегонки нафти або продукти, що утворилися внаслідок окислювальних процесів при зберіганні нафтопродуктів. Нафтенові кислоти спричиняють корозію

тільки кольорових металів, а утворені ними кислі продукти, діють практично на всі метали.

Органічні кислоти за корозійною активністю значно слабкіші водорозчинних, тому наявність їх в нафтопродуктах допускається і обмежується у паливах показником “кислотність”, а у мастильних матеріалах - “кислотним числом”.

*Кислотність* - кількість (мг) лугу  $KOH$ , необхідна для нейтралізації 100 мл палива. *Кислотне число* - кількість лугу  $KOH$  (мг), що необхідна для нейтралізації 1 г мастильного матеріалу. Кислотність (кислотне число) нафтопродукту визначають шляхом витяжки з нього органічних кислот киплячим етиловим спиртом і послідовним титруванням витяжки спиртовим розчином  $KOH$ .

*Сірчисті сполуки* за корозійною агресивністю поділяють на активні і неактивні. При згорянні як активні, так і неактивні сполуки утворюють сірчистий і сірчаний ангідриди. Дуже важливо при експлуатації двигунів на паливі з високим вмістом сірки підтримувати оптимальний тепловий режим (рис. 1.15), оскільки в зоні високих температур проявляється газова корозія, а в зоні низьких температур – рідинна корозія.

Сірка шкідлива не тільки з точки зору корозійного спрацювання деталей, а також і тому, що при роботі двигунів на паливі з високим вмістом сірки утворюється більше твердого і щільного нагару, частинки якого, потрапляючи в масло, прискорюють зношування циліндро-поршневої групи та зменшують термін роботи самого масла.

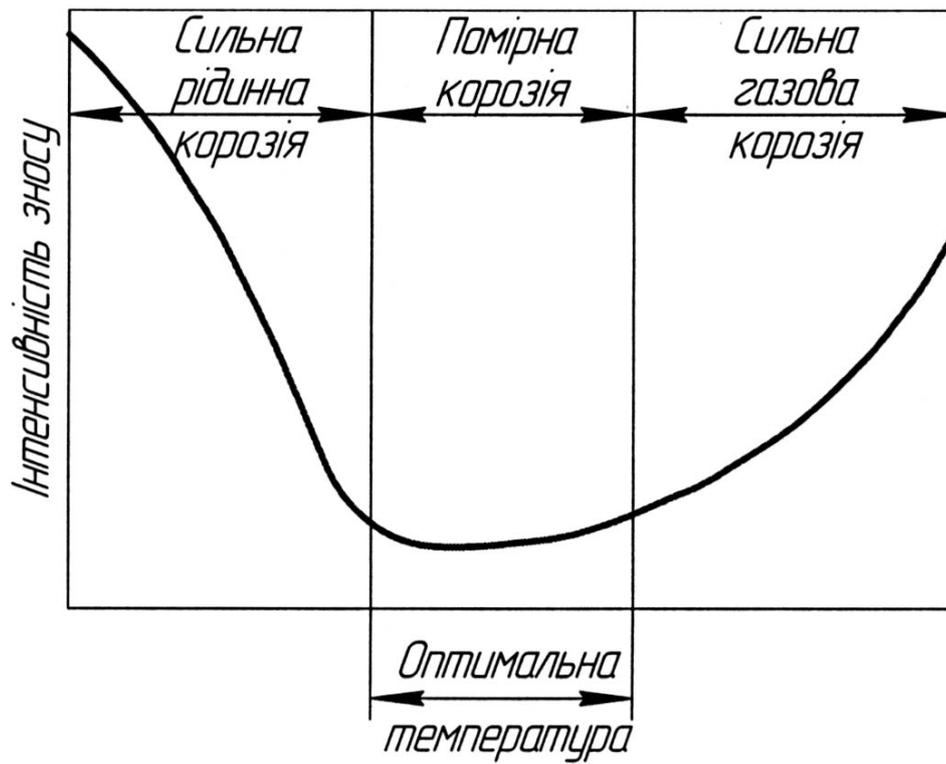


Рис. 1.15. Залежність корозійного зносу від теплового режиму роботи двигуна

### **3. ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА ВИКОРИСТАННЯ ПАЛИВ ДЛЯ ДВИГУНІВ З ПРИМУСОВИМ ЗАПАЛЮВАННЯМ**

- 3.1. Умови застосування і основні вимоги до бензинів*
- 3.2. Сумішоутворюючі властивості бензинів*
- 3.3. Нормальне і детонаційне згоряння бензину*
- 3.4. Вплив конструктивних і експлуатаційних факторів і хімічного складу палива на процес згоряння*
- 3.5. Оцінка детонаційної стійкості палива і антидетонатори*
- 3.6. Стабільність і схильність бензинів до відкладень*
- 3.7. Корозійні властивості бензинів*
- 3.8. Асортимент бензинів і область їх використання*
- 3.9. Закордонні класифікації автомобільних бензинів*

#### **3.1. Умови застосування і основні вимоги до бензинів**

До двигунів з примусовим запалюванням відносять поршневі і роторно-поршневі карбюраторні двигуни, двигуни з системою впорскування палива і двигуни, що працюють на газоподібному паливі. Основним паливом для цих двигунів є бензин. Бензин – це складна суміш легких ароматичних, нафтових, парафінових вуглеводів та їх похідних з числом атомів вуглецю від 5 до 10, який має середню молекулярну масу біля 100. Легкозаймиста, без кольору або жовтувата (коли без спеціальних добавок) рідина, що википає при 35...205 °С.

Потужність і економічність двигуна, що розвивається, та його надійність в значній мірі залежить від якості бензину.

## Експлуатаційні властивості та використання палив для двигунів з примусовим запалюванням

---

---

Бензини повинні відповідати певним експлуатаційним властивостям. Ці властивості регламентуються значеннями ряду фізико-хімічних показників, згідно ГОСТ. У самому загальному вигляді палива, що застосовуються, повинні відповідати наступним основним експлуатаційним вимогам:

- мати найбільшу теплоту згоряння;
- володіти хорошими сумішоутворюючими властивостями;
- забезпечувати високу детонаційну стійкість;
- бути стійкими до нагароутворення;
- не містити в собі механічних домішок і води;
- не проявляти схильність до корозійного впливу;
- не втрачати свою якість у широкому інтервалі температур;
- бути стабільними при транспортуванні та зберіганні;
- не забруднювати навколишнє середовище відпрацьованими газами.

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

### 3.2. Сумішоутворюючі властивості бензинів

Процес сумішоутворення в двигунах з примусовим запаленням робочої суміші умовно поділяють на дві стадії: дозування і випаровування палива. В карбюраторних двигунах ці стадії взаємозв'язані, тому що в дозуючому карбюраторі відбуваються одночасно в дві стадії, причому випарювання тут відбувається тільки частково. У системах вприскування стадії дозування палива чітко розділені за часом і простором.

На дозування палива впливають його основні фізичні властивості – густина і в'язкість. Густина палива для товарних

бензинів не нормується, але її необхідно знати не тільки для розрахунку дозуючих систем, але і при перерахунку об'ємних одиниць в масові та навпаки, під час приймання та видачі бензину.

При розрахунку пропускної здатності жиклерів в карбюраторі або дозуючих пристроїв систем вприскування потрібно враховувати те, що із зниженням температури в'язкість палива збільшується в 8...10 раз швидше, ніж густина, тому масова доля витрати палива через дозуючий пристрій зменшується.

Для надійної роботи двигуна ще недостатньо точно реалізувати дозування палива, дуже важливо, щоб паливо перед згорянням випаровувалось і утворилась паливна суміш. Утворення суміші палива і повітря залежить як від фізичних властивостей самого палива (фракційний склад, тиск насиченої пари, поверхневий натяг), так і від умов в яких відбувається даний процес (відносна швидкість палива і повітря, їх температура тощо).

*Фракційний склад* впливає на експлуатаційні властивості бензину. Від фракційного складу бензину залежить пуск двигуна, час його прогрівання і приємність, спрацювання деталей циліндро-поршневої групи; витрата палива, масла; токсичність відпрацьованих газів тощо. Для характеристики фракційного складу в стандарті вказані температури початку перегонки, температури, при якій переганяється 10, 50 і 90% бензину, а також температура кінця його кипіння. Крім того, визначають залишок після перегонки і втрати.

За температурою перегонки 10% бензину ( $t_{10\%}$ ) роблять висновок про наявність в ньому пускових (головних) фракцій, від яких залежить легкість пуску холодного двигуна. Чим нижча ця температура, тим легше і швидше можна запустити двигун, оскільки більша кількість бензину надходить у циліндри у вигляді пари. Важливо, щоб температура  $t_{10\%}$  була невисокою для бензинів, які використовують при низьких температурах повітря.

При високій температурі перегонки 10% бензину ускладнюється пуск холодного двигуна, тому що основна кількість бензину подається в циліндри у рідкому стані. Такий бензин розріджує масло, змиваючи його з стінок циліндрів і призводить до підвищеного зношування деталей двигуна.

Якщо бензин має дуже низьку температуру  $t_{10\%}$ , то на прогрітому двигуні, особливо в спеку, під капотом у системі живлення можуть випаровуватись легко киплячі вуглеводні, утворюючи пари, об'єм яких у 15...200 разів більше об'єму бензину. При цьому вони порушують подачу палива з паливного бака до бензонасоса, тому це явище одержало назву „парової пробки”. Щоб запобігти йому рекомендують застосовувати бензин при температурі навколишнього повітря ( $t'_n$ ) не вище:

$$t'_n = t_{10\%} + 10. \quad (1.31)$$

Крім того, обмежуються кількість легко киплячих вуглеводнів у бензинах температурою  $t_{10\%}$ , яка для всіх марок літніх автомобільних бензинів повинна бути не нижче 35 °С. За такої умови зменшуються втрати легко киплячих вуглеводнів від випаровування при зберіганні, у випадку нагрівання резервуарів сонячним промінням.

Використання бензину з високим вмістом легко киплячих фракцій, крім утворення „парових пробок”, може призвести, при підвищенні вологості до обледеніння карбюраторів, в наслідок різкого зниження температури у випускній системі.

У системах впорскування бензину небезпека виникнення «парових пробок» практично виключена, оскільки паливо подається до форсунок спеціальним насосом, розміщеним не під капотом, а біля паливного бака.

Після пуску двигуна інтенсивність його прогрівання і прийомистість залежить головним чином від температури перегонки 50% бензину ( $t_{50\%}$ ). Чим нижча ця температура, тим випаровуються середні фракції бензину, забезпечуючи стійку роботу двигуна на режимі холостого ходу і хорошу його прийомистість.

Проте використання бензину з низькою температурою  $t_{50\%}$  може призвести до зниження коефіцієнта наповнення і потужності двигуна. Тому температура перегонки 50% палива для бензинів повинна бути у межах 100...115°C.

За температурою перегонки 90% ( $t_{90\%}$ ) і температурою кінця кипіння ( $t_{кк}$ ) роблять висновок про інтенсивність і повноту згоряння робочої суміші та про наявність у бензині важких (хвостових) фракцій. При наявності важких фракцій паливо випаровується неповністю, що призводить до нерівномірного розподілу пальної суміші між циліндрами, розрідження масла паливом, підвищення спрацювання деталей двигуна і витрати палива. Чим менший інтервал від  $t_{90\%}$  до  $t_{кк}$ , тим якість палива вища.

Фракційний склад бензину визначають згідно ГОСТ 2177-82 за допомогою спеціального приладу показуваного на рис. 1.16.

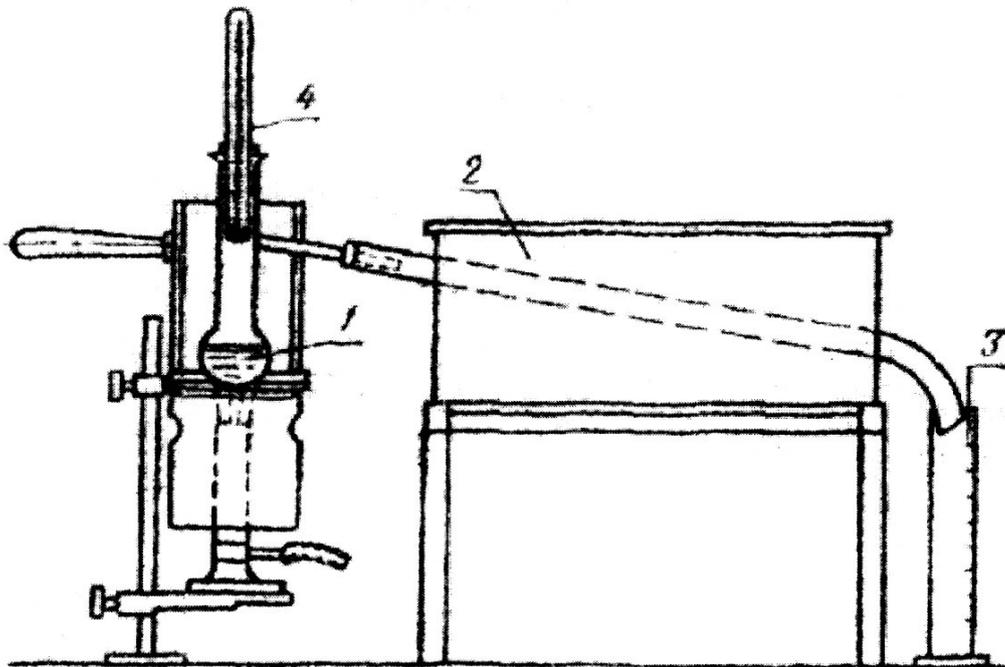


Рис 1.16. Прилад для визначення фракційного складу палива:  
1 – колба; 2 – холодильник; 3 – мірний циліндр; 4 - термометр

## Експлуатаційні властивості та використання палив для двигунів з примусовим запалюванням

У колбу 1 заливають 100 мл досліджуваного палива і підігрівають до кипіння. Пари палива поступають в холодильник 2 і конденсуються. У момент падіння першої краплі конденсату у мірний циліндр 3 на термометрі 4 відмічають температуру, яку вважають початковою температурою кипіння палива. Потім послідовно фіксують температури, коли у мірному циліндрі нагромаджуються чергові 10% розгонки палива ( $t_{10\%}$ ,  $t_{20\%}$ ,  $t_{30\%}$  і т.д.). Результати перегонки бензину відображають у вигляді кривих (рис. 1.17).

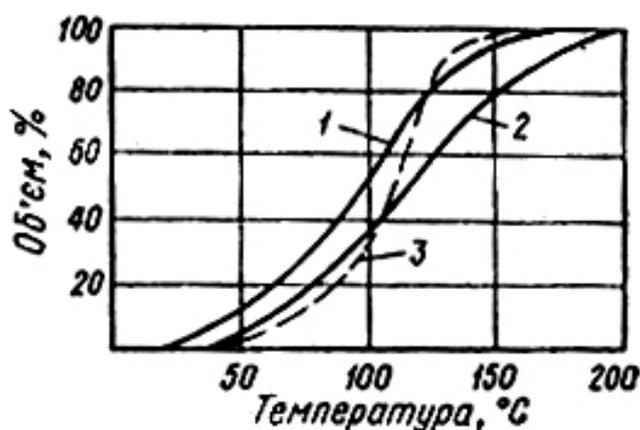


Рис. 1.17. Криві розгонки бензину:  
1 – зимовий; 2 – літній; 3 – авіаційний

Тиск насиченої пари характеризує випарність головних фракцій бензину і в першу чергу їх пускових властивостей. Чим більше тиск насиченої пари бензину, тим легше він випаровується і швидше відбувається пуск і прогрівання двигуна. Дуже високий тиск насиченої пари призводить до утворення „парових пробок”, зменшення наповнення циліндрів, а відповідно і до зниження потужності. Тому тиск насиченої пари для літніх видів бензинів допускається не вище 66,7 кПа, для зимових 66,7...93,3 кПа.

На сумішоутворюючі властивості бензину впливають його в'язкість і поверховий натяг. Чим менша їх величина, тим дрібніше розпилюється паливо, тим більша поверхня випарювання. Поверхневий натяг усіх автомобільних бензинів однаковий і при

температурі 20 °С він дорівнює 20...24 мН/м, тобто приблизно в 3,5 рази менший, ніж у води.

На утворення однорідної паливної суміші, крім названих вище властивостей, впливає ще і вміст механічних домішок і води. Механічні домішки в бензині не допускаються, оскільки вони призводять до засмічення паливних фільтрів, паливопроводів, жиклерів, що порушує нормальну роботу двигуна. Крім того, потрапляючи в двигун механічні домішки прискорюють спрацювання його деталей.

Вода в бензині не допускається. Вода небезпечна при температурі нижче 0°С, бо замерзаючи, утворює кристали, які можуть припинити доступ бензину. Крім того вода сприяє окисленню бензину і є основною причиною корозії деталей системи живлення. Тому потрібно регулярно зливати воду і осад з паливних баків і паливних фільтрів.

### **3.3. Нормальне і детонаційне згоряння бензину**

Від досконалості протікання процесу згоряння палива залежать основні техніко-економічні показники роботи двигуна. Головними факторами, які впливають на процес згоряння палива, є хімічний склад самого палива, склад робочої суміші, тиск, температура, момент початку і кінця згоряння робочої суміші. Згоряння робочої суміші може бути нормальним і детонаційним.

*Нормальне згоряння.* У двигунах з примусовим запалюванням робоча суміш, яка стиснута в циліндрі до 1,0...1,5 МПа і нагріта до 350...380 °С займається від електричної іскри свічки запалювання і згорає в процесі поширення фронту полум'я по всій камері згоряння (рис. 1.18).

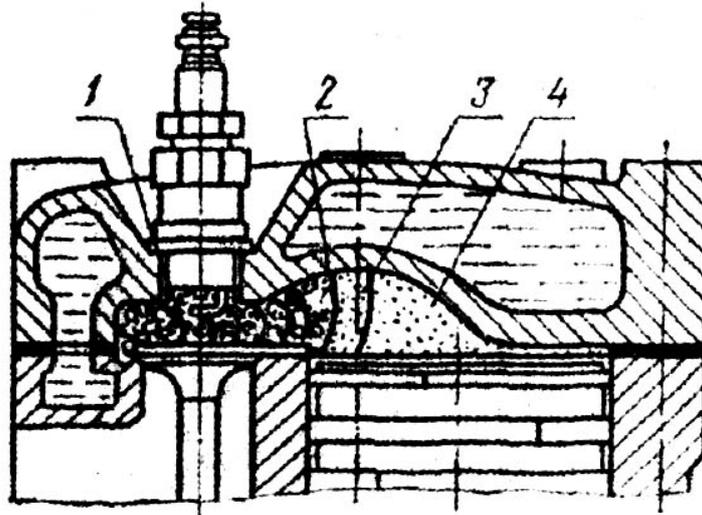


Рис. 1.18. Схема горіння робочої суміші в камері згоряння двигуна:  
1 – згораємо частина робочої суміші; 2 – фронт полум'я; 3 – зона  
безполуменевого окислення; 4 – частина робочої суміші, що не згоріла

При нормальному згорянні робочої суміші тиск в циліндрі двигуна, як показує індикаторна діаграма (рис. 1.8) зростає плавно. При цьому виділяють три фази згорання: утворення осередку горіння (ділянка А), швидкого поширення фронту полум'я (ділянка Б) і догоряння (ділянка В).

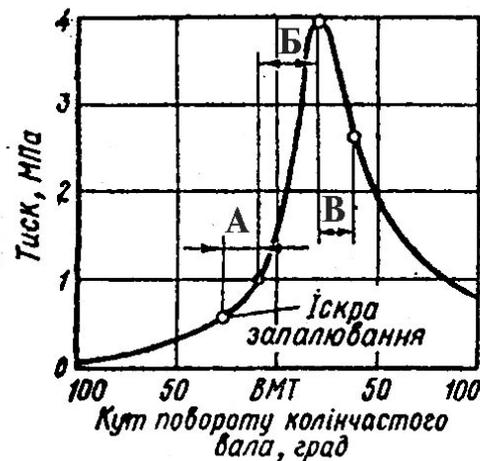


Рис. 1.19. Індикаторна діаграма роботи карбюраторного двигуна

Перша фаза починається з моменту подачі іскри і закінчується в момент помітного підвищення тиску внаслідок згорання.

---

---

В цій фазі, осередок горіння, що виник між електродами свічки запалювання, поступово перетворюється в розвинутий фронт полум'я.

Друга – основна фаза. Починається з моменту помітного підвищення тиску і закінчується в момент досягнення максимального тиску в циліндрі двигуна. Середня швидкість розповсюдження фронту полум'я складає 15...80 м/с. Ця фаза протікає практично при незмінному об'ємі, так як поршень протягом цієї фази знаходиться біля верхньої мертвої точки (*ВМТ*). На швидкість розповсюдження фронту полум'я чинить вплив збільшення тиску і температури робочої суміші. Максимальне значення швидкості фронту полум'я відповідає коефіцієнт надлишку повітря  $\alpha = 0,93...0,95$ . Збагачення або збіднення робочої суміші сприяє зниженню швидкості розповсюдження фронту полум'я. При збагаченні суміші це відбувається внаслідок недостачі кисню для горіння палива, а при збідненні суміші – із-за зниження температури робочої суміші, так як частина тепла витрачається на нагрівання лишньої кількості повітря.

Збільшення частоти обертання колінчастого валу двигуна позитивно впливає на швидкість розповсюдження фронту полум'я, що пояснюється підсиленням вихрових рухів робочої суміші, які в свою чергу спричиняють розширення поверхні фронту полум'я.

Заключна третя фаза – процес догорання робочої суміші. Для досягнення максимальної потужності і економічності роботи двигуна точки початку і кінця другої фази повинні бути розташовані приблизно симетрично відносно верхньої мертвої точки. Положення всіх фаз відносно *ВМТ* регулюють, змінюючи установку моменту запалювання. Кут у градусах повороту колінчастого валу від моменту проскакування іскри між електродами свічки запалювання до *ВМТ* називають кутом випередження запалювання, який залежить від властивостей бензину, конструктивних особливостей двигуна, режиму його роботи і

для сучасних карбюраторних двигунів знаходиться в межах 12...15°.

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

Особливістю детонаційного згоряння палива є поява ударних хвиль (рис. 1.20), які, багаторазово відбиваючись від стінок камери згоряння, викликають вібрацію і характерні металеві стуки. Зовнішніми ознаками детонації може бути також димний випуск відпрацьованих газів, оскільки при вибуховому розвитку процесу частина палива не встигає цілком згоріти. За рахунок ударної дії гарячих газів на стінки камери згоряння збільшується коефіцієнт теплопередачі, приводить до перегріву двигуна. Невиробничі додаткові втрати тепла в систему охолодження і неповнота згоряння палива викликають зниження потужності двигуна.

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

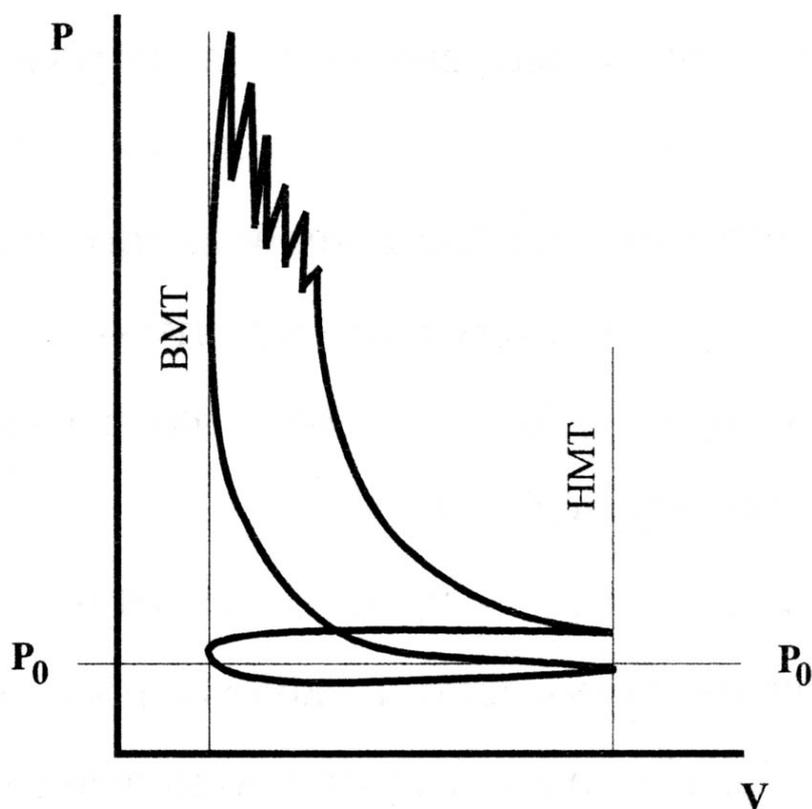


Рис. 1.20. Індикаторна діаграма при детонаційному згорянні палива

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

Відповідно до теорії органічних перекисів процес згоряння робочої суміші розпадається на дві фази. У першій, характеризується підвищенням температури і тиску, відбувається передполуменеве окислювання вуглеводнів, а в другій згоряння супроводжується видимим полум'ям.

У першій фазі, що починається ще в такті стиснення, утворюються первинні продукти окислювання вуглеводнів (у

першу чергу перекисні з'єднання). Їх кількість збільшується усе швидше в міру збільшення температури і тиску робочої суміші. Відповідно до висновків академіка Н.Н. Семенова, реакція утворення перекисів носить ланцюговий характер, тобто вона виникає самовільно і поряд із кінцевими продуктами утворюються нові активні центри, які ведуть до послідовного утворення нових перекисів.

В другій фазі, коли паливо запалилося і утворився фронт полум'я, хід реакцій окислення прискорюється, що є наслідком подальшого різкого підвищення температури і тиску в незгорілій частині робочої суміші. В міру згоряння все більшої частини робочої суміші температура і тиск в обсязі згоряння продовжують наростати, а це, у свою чергу, прискорює процес окислювання вуглеводнів у незгорілій її частині. В результаті кількість утворених перекисних з'єднань при окислюванні вуглеводнів різко підвищується.

В таких умовах швидкість окислювання може зрости настільки, що процес утворення перекисів прийме лавинний характер і їх концентрація в частині робочої суміші досягне критичних значень. Тоді процес згоряння і здобуває вибуховий характер, тобто виникає явище детонації, при якій швидкість розповсюдження фронту полум'я зростає стрибкоподібно і стає більше швидкості звуку. При цьому ударна хвиля не випереджає фронту, збігаючись з ним створює детонаційну хвилю.

В процесі нормального згоряння в робочій суміші також утворюються перекисні з'єднання але їх концентрація в незгорілій частині суміші так і не досягає критичної.

Аналізуючи викладене, можна зробити висновок, що найбільші можливості для переходу нормального згоряння в детонаційне створюються при згорянні останніх частин робочої суміші. Чим більше незгорілої робочої суміші, яка залишилася та буде детонувати, тим інтенсивніше детонація і важче її наслідки.

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

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

### **3.4. Вплив конструктивних і експлуатаційних факторів і хімічного складу палива на процес згоряння**

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

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

*Застосування наддування* також служить одним з ефективних способів підвищення потужності та економічності двигуна,

однак через різке зростання тиску і температури робочої суміші, як і при підвищенні ступеня стиску, потрібно паливо з більш високою детонаційною стійкістю.

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

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

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

Найвигідніший, строго визначений *кут випередження запалювання* робочої суміші встановлюють для одержання максимальної потужності двигуна. Однак за умовами згоряння випередження запалювання не завжди виявляється сприятливим. Це пояснюється тим, що із збільшенням цього кута запалення робочої суміші відбувається при більш низьких значеннях тиску і температури, що погіршує умови процесу горіння суміші. Крім того, до кінця згоряння температура і тиск робочої суміші значно зростають, що сприяє утворенню і нагромадженню в су-

міші перекісних з'єднань, що викликають детонацію. Щоб попередити детонацію, потрібно зменшити кут випередження запалювання, але тоді потужність двигуна трохи знизиться. Застосовуючи ж бензини з більш високою детонаційною стійкістю, можна встановити режим з оптимальним значенням кута випередження запалювання і силових показників двигуна. У цьому випадку зменшення кута випередження запалювання для ліквідації детонації доцільно тільки як тимчасова міра.

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

*Коефіцієнт надлишку повітря* характеризує склад суміші, від якого в істотній мірі залежить швидкість згоряння, палива. Найбільш небезпечні у відношенні детонації умови створюються при коефіцієнті  $\alpha=0,9\dots 1,1$ , якому відповідає максимальна швидкість протікання передполум'яних процесів окислювання в робочій суміші. Вихід за межі цих значень  $\alpha$  зменшує ймовірність появи детонації. При збідненні пальної суміші зростає витрата тепла на підігрів зайвого повітря, а отже, знижується температура суміші. При збагаченні суміші зменшується концентрація кисню, а відповідно і інтенсивність утворення перекисів, які сприяють детонації.

Покращення охолодження деталей двигуна і особливо інтенсивне відведення тепла від стінок камери згоряння з метою зниження температури робочої суміші при згорянні є важливими факторами попередження детонаційного згоряння.

Збільшення вологості повітря, яке подається в двигун, також буде знижувати температуру робочої суміші за рахунок того, що випаровування крапель води віднімає від суміші частину тепла. Крім того, сама водяна пара є складовою частиною робочої суміші, діє як інертні гази, запобігаючи утворенню перекисів.

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

*Нагаровідкладення* на поверхнях камери згоряння сильно погіршують відвід тепла від робочої суміші і разом з тим як би мимовільно збільшують степінь стиску. Доказово, що теплопровідність нагару приблизно в 50 разів менше, ніж теплопровідність чавуна або сталі. Внаслідок погіршення теплопровідності покритих нагаром стінок камери згоряння температура робочої суміші підвищується і створюються умови для утворення і нагромадження перекисів, що сприяють детонації. Крім того, і сам нагар, маючи високу температуру, може викликати передчасне samozapalювання палива, порушуючи нормальний режим роботи двигуна.

Тепловий стан двигуна погіршується і в результаті утворення в системі охолодження (особливо на поверхнях голівки циліндрів) накипі, що також має дуже низьку теплопровідність.

Можна відзначити, що до деякої міри на процес згоряння впливає значення атмосферного тиску. З його зменшенням буде менше ваговий заряд робочої суміші. Отже, знизуються її тиск і температура, а разом з ними й інтенсивність утворення перекисів.

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

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

молекул. Це відноситься і до такої властивості, як детонаційна стійкість вуглеводнів.

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

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

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

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

Таким чином, можна зробити висновок, що до складу високоякісних бензинів повинні входити ізопарафінові і ароматичні вуглеводні, що володіють найвищою детонаційною стійкістю.

### 3.5. Оцінка детонаційної стійкості палива і антидетонатори

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

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

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

Розроблено і стандартизовано ряд методів визначення октанового числа бензину. Найчастіше використовують два методи (табл. 1.8): моторний (ГОСТ 511-85) і дослідний (ГОСТ 8226-85). Оцінка октанового числа одночасно двома методами дає можливість визначити чутливість бензину до зміни режиму роботи двигуна. Чутливість бензину оцінюють різницею октанових чисел, одержаних моторним і дослідним методами.

Таблиця 1.8

Технічні умови визначення октанового числа бензину на установці УИТ-65

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

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

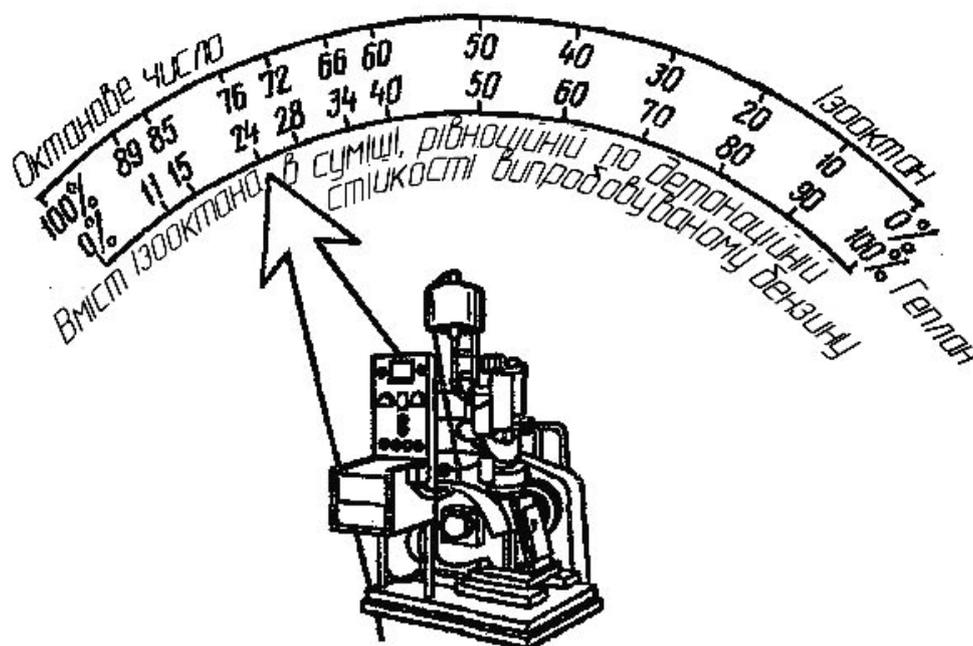


Рис. 1.21. Схема визначення октанового числа бензину

Оцінка детонаційної стійкості бензинів у лабораторних умовах на одноциліндрових двигунах має відносний характер і не завжди збігається з фактичною детонаційною стійкістю бензинів на повно розмірних двигунах в умовах експлуатації. Дослідний метод проводять у режимі роботи двигуна в умовах міського руху автомобіля (обмежена потужність, дуже часті зупинки, порівняно низький тепловий режим). Якщо октанове число визначають по дослідному методу, то в марці бензину пишуть букву „И” (наприклад – АИ–93). Октанові числа, визначені по дослідному методу, на 7...10 одиниць вище, ніж визначені по моторному методу. Чим менша ця різниця для бензину, тим вищі його експлуатаційні властивості.

Кожний двигун призначений для роботи на бензині із конкретним октановим числом, яке визначається конструктивними особливостями двигуна і в першу чергу ступінню стиску:

$$ОЧ = 125,4 - 413/\varepsilon + 0,183 d_c, \quad (1.32)$$

---

---

де  $OЧ$  – октанове число бензину визначене по моторному методу;

$\varepsilon$  – ступінь стиску;

$d_{ц}$  – діаметр циліндра, мм.

*Антидетонатори.* Основним фактором, що впливає на виникнення детонації, є ступінь стиску, від якого залежить температура і тиск в камері згоряння. Чим вище ступінь стиску, тим більша ймовірність виникнення детонації, вищі вимоги до детонаційності бензину. Враховуючи те, що з підвищенням ступеня стиску двигунів поліпшуються їх техніко-економічні і експлуатаційні показники (рис. 1.22) та вимоги до детонаційної стійкості бензину весь час зростають.

Високі детонаційні стійкості товарних бензинів досягають трьома основними способами:

1. Застосуванням сучасних технологій одержання палив, наприклад каталітичного, термічного крекінгу, гідрокрекінгу та каналізаційного риформінгу тощо, що дають можливість одержати базові бензини з октановим числом  $OЧМ$  – 75...80 і  $OЧД$  – 80...94 (табл. 1.9);

2. Підвищенням октанового числа, для чого додають до 40% високооктанових компонентів (ізооктану, алкілбензину та ін.), що мають  $OЧМ$  близько 100 (табл. 1.10);

3. Введенням антидетонаторів, тобто хімічних сполук, які при дуже незначній концентрації (рис. 1.23) різко підвищують октанове число бензину. Цей спосіб підвищення детонаційної стійкості найпоширеніший і найбільш ефективний.

Найефективнішим антидетонатором є тетраетилсвинець (ТЕС) –  $Pв(C_2H_5)_4$ , який використовується декілька десятків років. Це важка масляниста безколірна або жовтувата отруйна рідина з високою густиною ( $P^{20}=16,52кН/м^3$ ), добре розчиняється в бензині і має температуру кипіння близько 200 °С. ТЕС не розчиняється у воді.

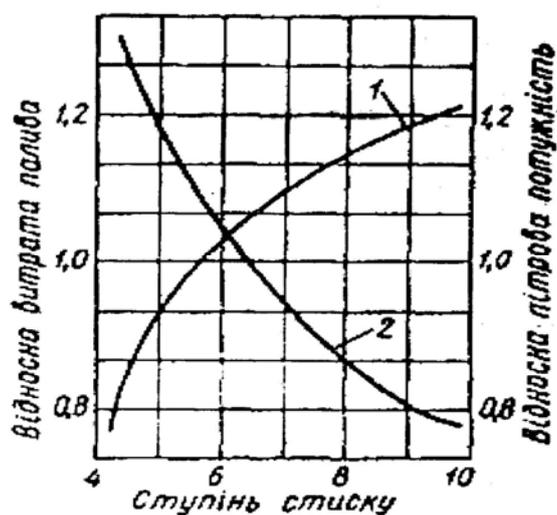


Рис. 1.22. Вплив ступеня стиску на літрову потужність (1)  
і втрату палива (2)

ТЕС вводять в паливо у вигляді етилової рідини (ЕР). В залежності від марки ЕР до її складу входять: 54...58% ТЕС, до 40% виносника свинцю, до 0,5% фарбувальної рідини та 5...6% наповнювача. Склад вітчизняних і закордонних рідин (в %) приведений в табл. 1.11. Бензин із додаванням ЕР називають етилованим.

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

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

Таблиця 1.9

Антидетонаційні властивості бензинів, одержаних  
термічних і каталітичних процесами

| Спосіб одержання бензину і сировина   | ОЧД  | ОЧМ  | Чутливість бензину |
|---|------|------|--------------------|
| Термічний крекінг мазуту з суміші куйбишевської нафти                         | 71,2 | 64,2 | 7,0                |
| Каталітичний крекінг легкої дистилятної сировини з суміші куйбишевської нафти | 82,6 | 74,9 | 7,7                |
| Термічний крекінг напівгудрону  | 75,6 | 68,5 | 7,1                |
| Каталітичний крекінг важкої десятилітної сировини з нафти:                    |      |      |                    |
| Ромашкінської   | 83,8 | 76,2 | 7,6                |
| Туймазинської   | 87,0 | 77,8 | 9,2                |
| Гідрокрекінг  | 75,0 | 71,0 | 4,0                |
| Каталітичний риформінг (платформінг):   |      |      |                    |
| - легкого режиму  | 83,7 | 77,0 | 6,7                |
| - жорсткого режиму  | 96,6 | 86,0 | 10,6               |

Таблиця 1.10

Антидетонаційні властивості високооктанових  
компонентів бензину

| Компонент                   | ОЧД | ОЧМ | Чутливість бензину |
|-----------------------------|-----|-----|--------------------|
| Бутанова фракція            | 94  | 89  | 5                  |
| Ізобутанові фракція         | 101 | 97  | 4                  |
| Ізопентанова фракція        | 93  | 90  | 3                  |
| Газовий бензин (33...103°C) | 89  | 86  | 3                  |
| Диізобутилен (ізооктилен)   | 100 | 88  | 12                 |
| Полімербензин               | 100 | 85  | 15                 |
| Толуол                      | 115 | 103 | 12                 |
| Алкілбензин                 | 107 | 100 | 7                  |
| Піробензин                  | 102 | 88  | 14                 |
| Ізооктан технічний          | 100 | 100 | 0                  |

Експлуатаційні властивості та використання палив для двигунів  
з примусовим запалюванням

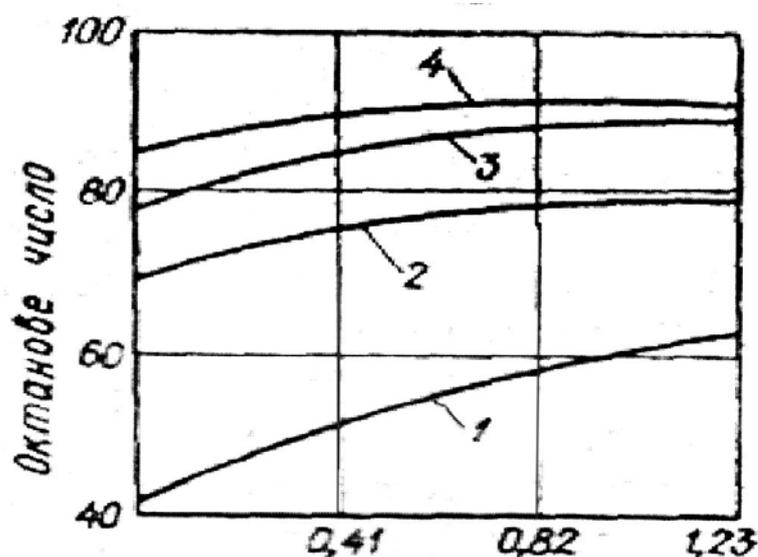


Рис. 1.23. Вплив вмісту ТЕС на октанове число бензинів:  
1 – пряма перегонка; 2 – термічний крекінг; 3 – каталітичний крекінг;  
4 – риформінг

Таблиця 1.11

Склад вітчизняних і закордонних етилових рідин (ЕР), %

| Компоненти                      | ЕР Р-9, СНД | ЕР 1-ТС, СНД | ЕР-2, СНД | ЕР, Англія | ЕР Автом., Англія | ЕР титул 1, ФРН | ЕР 0-62, США та ін |
|---------------------------------|-------------|--------------|-----------|------------|-------------------|-----------------|--------------------|
| Тетраетилсвинець                | 54,0        | 58,0         | 55,0      | 63,3       | 59,8              | 54,5            | 61,5               |
| Бромистий етил                  | 33,0        | —            | —         | —          | —                 | —               | —                  |
| Диброметан                      | —           | 36,0         | —         | 25,8       | 20,8              | 36,4            | 17,9               |
| Дибропропан                     | —           | —            | 34,4      | —          | —                 | —               | —                  |
| Дихлоретан                      | —           | —            | —         | 8,7        | 18,3              | —               | 18,8               |
| Монохлорнафтан                  | 6,8         | —            | 5,5       | —          | —                 | 9,0             | —                  |
| Фарбувальна рідина і наповнювач | До 100      |              |           |            |                   |                 |                    |

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

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

При зберіганні етилованих бензинів їх детонаційна стійкість зменшується із-за розкладання антидетонаторів. Цей процес прискорюється при наявності у паливі води, осадків, смол, а також при зберіганні бензину з підвищеною температурою.

Використання свинцевих антидетонаторів за останній час різко скорочується із-за їх високої токсичності і негативного впливу в навколишнє середовище, так як при роботі двигунів з етилованим бензином в атмосферу викидається велика кількість сполук свинцю у вигляді аерозолі.

На заміну свинцевих антидетонаторів було запропоновано марганцевий тип ЦТМ. За своїми антидетонаційними властивостями ЦТМ практично не поступається свинцевим і він нетоксичний. Проте широке промислове впровадження його затрудняється рядом причин. Основним недоліком ЦТМ є інтенсивне утворення оксиду марганцю на електродах свічок запалювання, яке призводить до замикання іскрового проміжку і таким чином

до відказу роботи системи запалювання. Крім того, при сильному освітлюванні ЦТМ розкладається, утворюючи в паливі пластівці нерозчинного в бензині осаду.

В останні роки зріс інтерес до використання деяких кисне-вмісних сполук, як високооктанових компонентів автомобільних бензинів, метил-третично-бутиловий ефір (МТБЕ)  $C_5H_{12}O$ , а також вторинно – (ВБС) і третично-бутилові спирти (ТБС). Вони нетоксичні, корозійно неактивні, добре змішуються з бензином та не руйнують пластмасові і резинові вироби. Октанове число МТБЕ складає 117, а ВБС – 110. Так, наприклад, при додаванні 7,0...10% МТБЕ до бензину суттєво підвищується його октанове число „головної” фракції, тобто покращує антидетонаційну характеристику легких фракцій бензину. Це дозволяє підвищити потужність двигуна при розгоні автомобіля, тобто підвищити приємність автомобіля. Крім того МТБЕ поліпшує склад продуктів згоряння бензину, а також має властивості проти обледеніння карбюратора в зимовий період.

### 3.6. Стабільність і схильність бензинів до відкладень

*Фізична стабільність.* Бензини містять найбільш легкокиплячі фракції вуглеводнів, тому втрати їх від випарювання більші, у порівнянні з іншими рідкими паливами. Схильність бензину до втрат від випарювання залежить від їх фракційного складу, тиску насиченої пари, компонентного складу. Найсхильніші до втрат від випарювання ті бензини, які містять бутан, або бутан – бутенові фракції. Газовий бензин й ізопентан менше впливають на схильність бензину до втрат. Втрати бензину зимового виду приблизно у півтора рази перевищують втрати літнього при однакових умовах зберігання. Проте при правильному транспортуванні і зберіганні втрати бензину невеликі і зміна їх якості незначна.

При низьких температурах у бензині може з'явитися тверда фаза у вигляді кристалів льоду або вуглеводнів. Вода може

---

---

з'явитися у бензині внаслідок поглинання вологи з повітря. Найбільшу гігроскопічність, тобто здатність до поглинання вологи з повітря, мають ароматичні вуглеводні. Поглинання вологи з повітря зменшується при підвищенні температури, зменшенні вологості і тиску. Крім кристалів льоду в бензині можуть бути кристали деяких вуглеводнів (бензолу, ксилолу), оскільки температура їх кристалізації низька. Так для бензолу вона складає 5,5 °С, а для ксилолу – 13,3°С.

*Хімічна стабільність.* Хімічна стабільність бензинів залежить в основному від групового хімічного складу палива і кількості ненасичених вуглеводнів. Кількісно хімічну стабільність бензинів оцінюють індукційним періодом. Чим більший індукційний період бензину, тим він стабільніший. У бензинах термічного крекінгу і риформінгу багато ненасичених вуглеводнів з низькою хімічною стабільністю, індукційний період яких, як правило, не перевищує 100...200 хв. Менш стабільні бензини каталітичного крекінгу, а бензини каталітичного риформінгу і продукти алкілування, ізомеризації, гідрогенізації володіють більш високою хімічною стабільністю.

Підвищення хімічної стабільності бензинів досягається двома способами: очисткою нестабільних дистилятів і використання спеціальних антиокислювачів. Найперспективніший спосіб очистки нестабільних дистилятів – гідрочистка, але стосовно бензинових фракцій гідроочистку застосовують головним чином для підготовки сировини до платформінгу.

Ефективним і економічним способом підвищення хімічної стабільності бензинів є введення антиокислювальних присадок – речовин, що здатні обривати ланцюгові реакції окислювання, тим самим збільшуючи індукційний період. Порівняльну ефективність дії вітчизняних окислювачів наведено в таблиці 1.12. При цьому, як відомо індукційний період бензину становить 275хв.

Таблиця 1.12

Ефективність антиокислювачів в неетильованому  
автомобільному бензині

| Антиокислювач              | Концентрація, % | Індукційний період,<br>хв |
|----------------------------|-----------------|---------------------------|
| Деревносмоляний<br>ФЧ – 16 | 0,065           | 560                       |
| n –                        | 0,065           | 615                       |
| оксидифеніламін            | 0,010           | 785                       |
| Іонол (Агідол – 12)        | 0,030           | 705                       |

Антиокислювачі деревносмоляний і ФЧ–16 – характеризуються обмеженою розчинністю в бензині і доброю у воді, тому вони поступово замінюються на Іонол і Агідол–12.

Антиокислювальні присадки крім попередження окислень вуглеводнів бензину, ефективні і в стабілізації ТЕС та ТМС. В умовах зберігання і використання етилованих бензинів ТЕС і ТМС може окислятися киснем повітря і утворювати твердий осад. Такий бензин до використання в ДВЗ не придатний.

Стандартами на бензин встановлений гарантійний термін зберігання автомобільних бензинів всіх марок, який становить 5 років.

*Схильність до відкладень.* У процесі роботи карбюраторних двигунів, працюючих на бензині в елементах системи живлення, у впускному трубопроводі на стінках камери згоряння і на поверхнях деталей механізму газорозподілення відкладаються смолисті речовини. Кількість відкладань у впускному трубопроводі і на впускних клапанах залежить від наявності фактичних смоли у бензині (рис. 1.24).

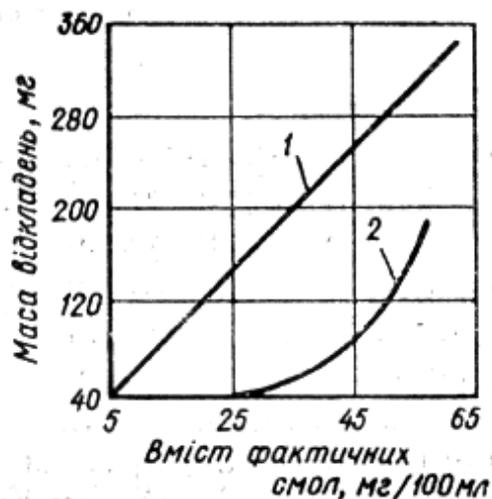


Рис. 1.24. Вплив вмісту смол у бензині на інтенсивність накопичення відкладень:

1 – у впускному трубопроводі; 2 – на впускному клапані

Якщо в паливних баках, фільтрах і карбюраторі ці відкладення порівняно м'які і липкі, то вже у впускному трубопроводі, де температура значно висока, вони щільні, а на стержнях клапанів відкладення наскільки щільні, що заважають нормальній роботі механізму газорозподілення, (приводить до зависання клапанів). Смолисті речовини, що містяться в бензині, повністю не згорають, під дією високих температур вони перетворюються в лакоподібні речовини (лаки) і нагар. Лаки призводять до пригорання компресійних кілець на поршнях, нагар може служити причиною замикання електродів свічок запалювання. В результаті зменшується потужність двигуна і збільшується витрата палива. Істотно особливо впливає на потужні і економічні показники роботи двигунів утворення у жиклерах карбюратора смолистих відкладень, які зменшують їх прохідні перерізи, збіднюючи горючу суміш.

Нагар – тверді вуглецеві відкладення, що утворюються з смолистих речовин на стінках камери згорання і впускних клапанів під дією високих температур. Нагар має дуже малу теплопровідність, тому охолодження камер згорання погіршується, що впливає на потужність і економічність двигуна. Нагар також викликає жарове запалювання. Схильність бензину до нагаро-

## Експлуатаційні властивості та використання палив для двигунів з примусовим запалюванням

утворення залежить в основному від вмісту і складу присутніх в ньому ароматичних вуглеводнів, етилової рідини і сполук сірки.

Ароматичні вуглеводні мають високу детонаційну стійкість, тому вони бажані в бензинах, але вони збільшують схильність бензину до нагароутворення. Враховуючи це, оптимальний вміст ароматичних вуглеводнів в автомобільних бензинах знаходиться в межах 40...45%. Однак установлені норми на вміст ароматичних вуглеводнів у технічних умовах на автомобільний бензин немає.

Етиловані бензини більш схильні до нагароутворення, ніж неетиловані. Крім того, зі збільшенням концентрації антидетонатора схильність бензину до нагароутворення зростає.

Сірчасті сполуки, присутні в бензинах, приймають участь в нагароутворенні і чим більше сірки в бензині, тим більша кількість нагару:

|                          |       |       |       |       |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Вміст сірки в бензині, % | 0,046 | 0,100 | 0,200 | 0,367 |
| Маса нагару в двигуні, г | 1,90  | 2,93  | 4,26  | 5,67  |

Кількість і характер відкладень залежать від ряду факторів, зв'язаних з умовами експлуатації і режимами роботи двигуна, але й у чималій мірі від якості застосовуваного палива. Використання бензину, який вміщає смолисті з'єднання, приводить не тільки до їхнього відкладення, але й до подальшого їхнього окислювання з утворенням нових продуктів. Процес окислювання смолистих з'єднань прискорює такі фактори, як надлишок кисню повітря в сумішеутворювальній камері карбюратора при високому ступені розпилювання самого палива і підвищення температури у впускному патрубку. В залежності від цієї температури співвідношення між кількістю відкладень у впускному тракті й у циліндрі двигуна змінюється, що ілюструється експериментальними кривими, приведеними на рис. 1.25. Окисні процеси в усмоктувальній системі при високій температурі ( $t$  °C) протікають дуже інтенсивно, але тому переважно тут відкладаються смолисті речовини, що утворюються (на графіку

позначене А, г), а в циліндр двигуна їх попадає менше. При зниженні температури в усмоктувальній системі основна маса смолоутворюючих з'єднань окисляється, але відкладається вже безпосередньо в циліндрі (Б, г). Криві на рис. 1.25 побудовані з урахуванням вмісту смол (1...3 мг у 100 мл бензину, 2...18 мг, 3... 35 мг). Аналіз кривих показує, що кількість відкладень у впускному тракті, у циліндрах тим більше, чим вище зміст смол у бензині.

Важливою характеристикою застосовуваних палив служить вміст так званих фактичних і потенційних смол. Кількісно вміст фактичних смол оцінюють по залишку від випару визначеного обсягу випробуваного бензину в спеціальному приладі. Потенційні смоли характеризують ті смолисті речовини, що можуть утворитися надалі в результаті полімеризації й окислювання неграничних вуглеводнів, що містяться в паливі. На рисунку 1.26 зображена схема приладу для визначення фактичних смол у бензині. У дві зважені склянки наливають по 25 мл випробуваного палива і ставлять в гнізда *t* попередньо підігрітого приладу. Температура в масляній лазні 2 підтримується постійною терморегулятором (150°C для бензинів і 180°C для керосинів).

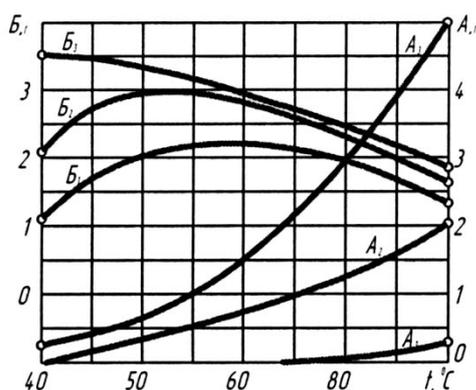


Рис. 1.25. Вплив температури  $t$  °С робочої суміші та якості палива на кількість відкладень А (г) у впускному тракті і нагару Б (г) на циліндрах двигуна

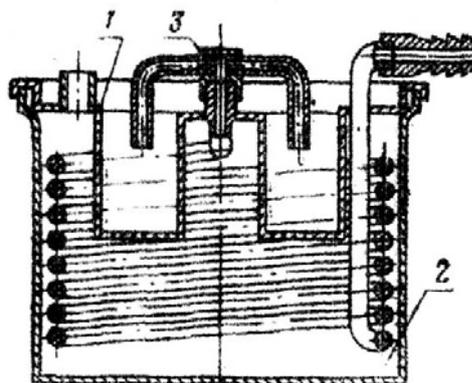


Рис 1.26. Прилад для визначення вмісту фактичних смол в паливі

## Експлуатаційні властивості та використання палив для двигунів з примусовим запалюванням

---

---

Паливо, що знаходиться в склянках, обдувається через насадку-трійник з гарячим повітрям з витратою 20...30 л/хв на початку досліду і 50...60 л/хв наприкінці (на обидві склянки). Подачу повітря припиняють через 15 хв після того, як зі склянок припиниться виділення парів палива, щоб у них утворився смолистий залишок, що не випаровується. Склянки витримують у приладі ще 30 хв при встановленій температурі, потім прохолоджують у ексикаторі і зважують.

Кількість фактичних смол обчислюють на 100 мл палива (мг /100 мл) по формулі  $100 m/V$ , де  $m$  — маса залишку смол у склянці (мг), а  $V$  — обсяг випробуваного палива в склянці (мл). Відповідно ГОСТ, зміст фактичних смол в автомобільних бензинах не повинне перевищувати 7...10 мг/100 мл.

Оскільки для визначення змісту потенційних смол немає загальноприйнятого достовірного методу, судити про потенційну здатність палива до смолоутворення можна по показнику стабільності, що оцінюється індукційним періодом. Індукційний період - це час, протягом якого паливо, що знаходиться в спеціальному приладі, в умовах, сприятливих для окислювання, практично не поглинає кисню. Для збереження первісних якостей бензинів дуже важливе значення мають умови зберігання і транспортування, оскільки інтенсивність окислювання й осмолення палива в істотному ступені залежить від часу, температури і ступені аерації. Легше інших окисляються неграничні вуглеводні палива, яких багато в крекінг-бензинах. На рис. 1.27 показана залежність вмісту  $\nu$  фактичних смол від часу збереження крекінг-бензину і ступеня заповнення ємкості.

---

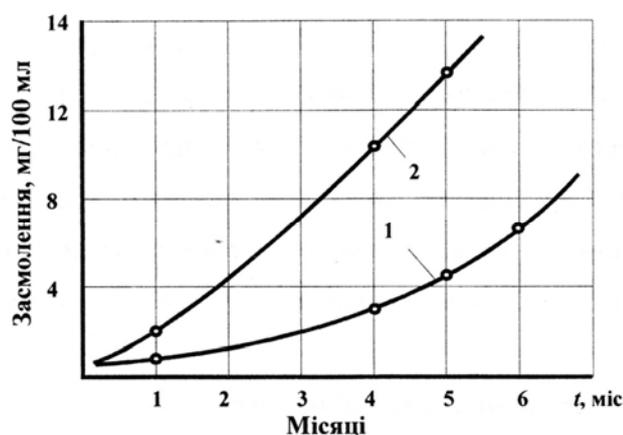


Рис. 1.25. Засмолення бензину термічного крекінгу при зберіганні: в наповненій ємності (1) і напівзалитій (2)

Для зменшення осмолення бензинів при зберіганні застосовують різні методи і засоби. Зокрема, щоб зменшити нагрівання, ємкості офарблюють у світлі тони, намагаються заповнювати їх цілком, коли можна витрачають раніше крекінг-бензини, а вже потім бензини прямої перегонки. Крім того, при виробництві палив в них додають, як вже згадувалося раніше, речовини-стабілізатори (фенол,  $\alpha$ - і  $\beta$ -нафтоли, гідрохінон, амінофенол і ін. ).

В зв'язку з тим, що вміст фактичних смол при зберіганні збільшується в наслідок окислення ненасичених вуглеводнів, стандарт обмежує їх вміст як на місці виробництва, так і на місці споживання. В сучасних автомобільних бензинах вміст фактичних смол на місці виробництва не повинен перевищувати 5 мг на 100 мл палива, а на місці споживання 7 мг на 100 мл.

### 3.7. Корозійні властивості бензинів

*Корозійні властивості* бензинів характеризують їхній вплив на метали і представляють великий практичний інтерес не тільки при використанні палива в двигуні, але і при його зберіганні, перекачуванні, транспортуванні й ін. Корозію викликають водорозчинні кислоти і луги, що можуть залишитися в па-

## Експлуатаційні властивості та використання палив для двигунів з примусовим запалюванням

---

---

ливі після очищення, органічні кислоти (переважно нафтові), сірка і сірчасті з'єднання та вода.

Відповідно до ГОСТ через сильний корозійний вплив у паливі не допускається присутність водорозчинних кислот і лугів, а вміст інших з'єднань обмежується. Якісне визначення наявності в паливі водорозчинних кислот і лугів здійснюється шляхом збовтування в ділильній лійці 50 мл випробуваного палива і 50 мл дистильованої води з наступною перевіркою реакції водяної витяжки на дію індикаторів (метилоранжу і фенолфталеїну). Якщо якісна проба показує присутність водорозчинних кислот і лугів, паливо бракують і не допускають до застосування.

Органічні кислоти палива є або нафтовими, що потрапляють в його з високо киплячими фракціями бензину при перегонці нафти, або продуктами окисних процесів при зберіганні. Якщо нафтові кислоти викликають корозію тільки кольорових металів, то кислі продукти агресивні до всіх металів.

По корозійній активності органічні кислоти незмірно слабкіші водорозчинних, тому їх наявність в паливі допускається, але обмежується. Вміст органічних кислот оцінюють показником кислотності, під яким розуміють кількість лугів (КОН) (мг), необхідних для нейтралізації органічних кислот, у 100 мл палива. Максимально допустима кислотність автомобільних бензинів 3 мг КОН /100 мл палива, а для бензинів вищої якості – від 0,8 до 1,0 мг КОН/100мл.

Сірка і сірчані з'єднання обумовлюють корозійні властивості самого бензину, а сірчасті продукти згоряння викликають корозію деталей двигуна додатково. Найбільше сильний корозійний вплив на метал роблять сірководень, сірка і нижчі меркаптани (присутність останніх у бензині не допускається).

У технічних вимогах на якість бензину передбачається оцінка корозійної активності – випробування „на мідну пластинку”, оскільки особливо сильно сірка і її сполуки діють на мідь і її сплави. Прийнято два методи випробування палив на мідну

пластинку: стандартний і прискорений. За стандартним методом випробування продовжується 3год. при температурі 50°C, за прискореним 18хв. при температурі 100°C (рис. 1.28).

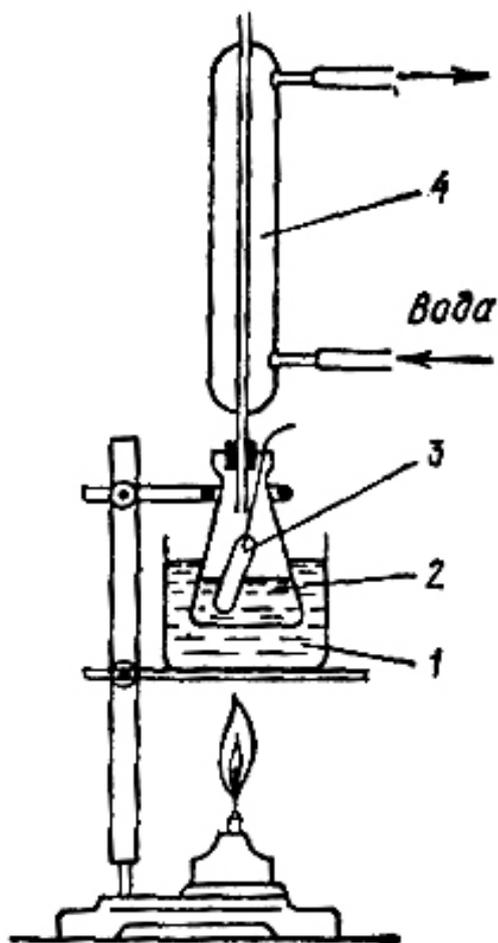


Рис. 1.28. Схема приладу для визначення активної сірки на мідній пластинці:

1 – водяна баня; 2 – колба з паливом; 3 – пластинка з рафінованої міді;  
4 –холодильник

Якщо паливо витримало випробування, то це свідчить про те, що вміст сірководню в бензині не більше 0,0003%, а вільної сірки – 0,0015%. У таких концентраціях указані сполуки мало впливають на корозійну активність бензину. На рис. 1.29 приведені графіки, ілюструючи залежність зносу (И, %) різних деталей двигуна від вмісту сірки (S, %) в паливі.

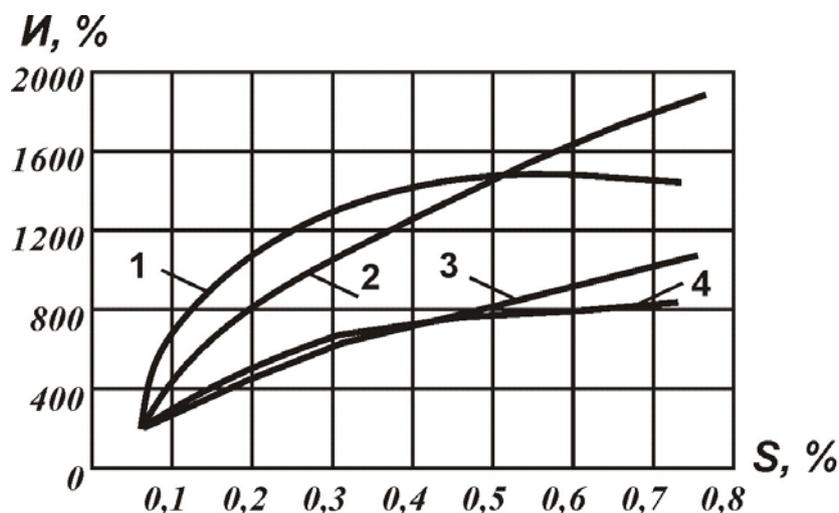


Рис. 1.29. Вплив вмісту сірчаних з'єднань в паливі на знос деталей двигуна:

1 – штовхачі; 2 – поршневі кільця; 3 – стрижні клапанів; 4 – гільзи циліндрів

### 3.8. Асортимент бензинів і область їх використання

Відповідно до ГОСТ 2084–77 (з доповненням) автомобільні бензини випускають слідуючи марок: А–80; АИ–93; АИ–98.

У марці бензинів А вказує, що бензин автомобільний; И – дослідний метод визначення октанового числа; цифра – мінімально допустиме значення октанового числа. Якщо в маркуванні літера И відсутня, то октанове число такого бензину визначали моторним методом. Крім того, за технічними умовами, в невеликій кількості випускають бензин „Екстра”, який відповідає марці АИ–95. Бензини, крім АИ–95 і бензинів вищої якості, є етилованими і фарбуються.

Усі бензини, крім АИ–95 і АИ–98, поділяють на літні і зимові. Сезонність бензину визначається тільки двома показниками його якості: фракційним складом і тиском насиченої пари. Літні бензини використовують з першого квітня до першого жовтня (в південних районах їх можна використовувати протягом року), зимові – з першого жовтня до першого квітня. В період переходу з літнього виду бензину на зимовий і навпаки,

допускається протягом 1<sup>го</sup> місяця використовувати бензини як літнього так і зимового видів, а також їх суміші.

Використання взимку літнього бензину призводить до перевитрати палива на 3...5%.

*Бензин АИ–93* (ОЧМ не менше 85) готують на основі бензину каталітичного риформінгу (платформінгу) жорсткого режиму з додаванням невеликої кількості легкого бензину (етилований варіант) і алкілату або алкінбензину (неетилований варіант). Він призначений для двигунів сучасних легкових автомобілів „Таврія”, „Москвич”, „Волга”, ВАЗ зі ступенем стиску 8,0...8,5.

*Бензин АИ–98* (ОЧМ не менше 89) випускають на основі неетилованого бензину АИ – 93. Він може бути в етилованому і неетилованому варіанті. Бензини АИ – 98 і АИ – 95 призначені для легкових автомобілів вищого класу: ГАЗ – 3105, ЗИЛ – 117, ЗИЛ – 4104 і зарубіжних легкових автомобілів цього ж класу, які мають двигуни зі ступенем стиску 9,0...10.

Бензини вищої якості мають менший вміст органічних кислот (кислотність не більша 1,0мг КОН/100мл), меншу концентрацію смол як на місці виробництва, так і на місці споживання, масова частка сірки обмежена до 0,05%, індукційний період збільшений до 1200хв.

Основні показники якості вітчизняних автомобільних бензинів наведені в табл. 1.13.

Таблиця 1.13

Основні показники якості автомобільних бензинів

| Показник   | АИ–93 | АИ–98 |
|--|-------|-------|
| 1  | 2     | 3     |
| Детонаційна стійкість:   |       |       |
| ОЧМ  | 85    | 89    |
| ОЧД  | 93    | 98    |
| Концентрація свинцю, г на 1дм <sup>3</sup> бензину, не більше: |       |       |
| етилованого  | 0,37  | 0,37  |
| неетилованого  | –     | –     |

Експлуатаційні властивості та використання палив для двигунів  
з примусовим запалюванням

| <i>Продовження табл. 1.13.</i>                                  |              |              |
|---|--------------|--------------|
| 1   | 2            | 3            |
| Фракційний склад $t_{пп}$ , °С, не нижче:                       |              |              |
| літнього виду   | 35           | 35           |
| зимового виду   | —            | —            |
| $t_{10\%}$ , °С, не вище літнього/зимового                      | 70/55        | 70/55        |
| $t_{50\%}$ , °С, не вище літнього/зимового                      | 115/100      | 115/100      |
| $t_{90\%}$ , °С, не вище літнього/зимового                      | 180/160      | 180/160      |
| $t_{кк}$ , °С, не вище літнього/зимового                        | 195/185      | 195/185      |
| залишок в колбі, %, не більше                                   | 1,5          | 1,5          |
| залишок і втрати, %, не більше                                  | 4,0          | 4,0          |
| Тиск насиченої пари, кПа:                                       |              |              |
| літнього виду, не більше  | 66,66        | 66,66        |
| зимового виду   | 66,66...93,3 | 66,66...93,9 |
| Кислотність, мг КОН/100см <sup>3</sup> бензину, не більше       | 3,0          | 3,0          |
| Концентрація смоли, мг на 100см <sup>3</sup> бензину не більше: |              |              |
| на місці виробництва  | 5            | 5            |
| на місці споживання   | 10           | 10           |
| Індукційний період, хв, не менше                                | 900          | 900          |
| Масова частка сірки, %, не більше                               | 0,10         | 0,10         |

### 3.9. Закордонні класифікації автомобільних бензинів

У більшості промислово розвинених країнах використовують в основному дві марки бензинів: „Преміум” з ОЧД 97...98 і „Регулятор” з ОЧД 90...94. У США, Англії і Німеччині існує ще одна марка „Супер” з ОЧД 100...101, виробництво якого не перевищує 4...6% від загального виробництва автомобільних бензинів. У багатьох країнах використовують бензин тільки однієї марки.

Деталізовані вимоги до якості бензинів у більшості країн установлюються фірмовими або військовими специфікаціями. Технічні умови, що діють у державному масштабі, нормують лише загальні вимоги за найважливішими показниками. Типо-

им прикладом таких технічних умов є специфікація ASTM на автомобільні бензини США (табл. 1.14). Специфікацією передбачається випуск двох марок бензинів «Преміум» і „Регулятор”, які залежно від показників випарності (фракційний склад і тиск насиченої пари) поділяють на п’ять типів: С (Cold) – для холодних кліматичних умов; М (Mild) – для помірних умов; W (Warm) – для теплої погоди; Н (Hot) – для жаркого клімату; Е (Extreme) – для особливо важких умов. До специфікації прикладено таблицю, в якій показано по кожному штату США, які бензини і в які місяці року повинні використовуватися.

Таблиця 1.14

## Специфікація ASTM на автомобільний бензин

| Показник  | Тип бензину |        |        |        |        |
|---|-------------|--------|--------|--------|--------|
|   | С           | М      | W      | Н      | Е      |
| Фракційний склад:<br>температура перегонки, °С,<br>не вище: |             |        |        |        |        |
| 10%   | 52          | 55     | 60     | 66     | 69     |
| 50%   | 121         | 121    | 121    | 121    | 121    |
| 90%   | 191         | 191    | 191    | 191    | 191    |
| к.к.  | 225         | 225    | 225    | 225    | 225    |
| залишок, %, не більше                                       | 2           | 2      | 2      | 2      | 2      |
| Тиск насиченої пари, МПа,<br>не більше                      | 0,0827      | 0,0698 | 0,0595 | 0,0517 | 0,0465 |
| Октанове число  |             |        |        |        |        |
| ОЧД „Преміум”   | 96          | 96     | 96     | 96     | 96     |
| „Регуляр”   | 92          | 92     | 92     | 92     | 92     |
| ОЧМ „Преміум”   | 88          | 88     | 88     | 88     | 88     |
| „Регуляр”   | 84          | 84     | 84     | 84     | 84     |
| Вміст фактичних смол,<br>мг/100 мл, не більше               | 5           | 5      | 5      | 5      | 5      |
| Випробування на мідній<br>пластинці, бали, не більше        | 1           | 1      | 1      | 1      | 1      |

У США існують крім того, специфікації фірм, якими передбачено інші фізико-хімічні показники і характеристики

## Експлуатаційні властивості та використання палив для двигунів з примусовим запалюванням

складу й якості автомобільних бензинів. Так специфікацією фірми „Mobil oil” допускається використання як антидетонатора не тільки ТЕС, але й ТМС:

|                      | «Преміям» | «Регулятор» |
|----------------------|-----------|-------------|
| ОЧД, не менше        | 98,5      | 92,0        |
| Вміст г/л не більше: |           |             |
| ТЕС                  | 0,25      | 0,23        |
| ТМС                  | 0,40      | 0,40        |

У США частка бензинів „Преміум” складає біля 15%, бензинів „Регулятор” – приблизно 75%, при чому вже в 1995р. частка етилованих бензинів складала 35%, при середньому вмісті свинцю 0,29г/л. Прийнято рішення про повний перехід на неетиловані бензини. Планується в даний момент випускати неетиловані бензини двох марок: „Регулятор” з ОЧД 92 (85% від загальної кількості) і „Преміум” з ОЧД 96.

Типові специфікації, які діють в Англії передбачають випуск бензинів „Супер”, „Преміум” і „Регулятор”. В них так само, як і в специфікації ASTM, якість бензинів регламентується за обмеженим числом показників. Більш детальні вимоги установлюють фірмовими специфікаціями. Основні показники, що нормуються специфікацією фірми „Shell” наведені нижче:

|  |                        |
|--|------------------------|
| ОЧД не менше:  |                        |
| „Супер” .....  | 101                    |
| „Преміум” .....  | 99                     |
| „Регулятор” .....  | 91                     |
| Вміст ТЕС, г/л не більше:                                |                        |
| „Супер” і „Преміум” .....                                | 0,7                    |
| „Регулятор” .....  | 0,58                   |
| Вміст фактичних смол мг/100мл, не більше .....           | 4,0                    |
| Індукційний період, хв, не менше .....                   | 240                    |
| Випробування на мідній пластинці, балці, не більше ..... | 1                      |
| Зовнішній вигляд .....                                   | Світла прозора рідина. |

Крім того цією специфікацією передбачається зміна фракційного складу і тиску насиченої пари залежно від сезону: жовтень – лютий, березень – квітень, травень – березень.

У країнах Європейського союзу (колишнє ЄЕС) частка бензинів „Преміум” складає 78%, а бензинів „Регулятор” – 22%, як правило вони етиловані з вмістом ТЕС від 0,15 до 0,40 г/л бензину. Октанове число бензинів „Регулятор” може коливатись від 91 до 92. Рішенням Ради країн ЄЕС від 20.03.85р. за №85/210 ЄЕС на перспективу затверджений єдиний неетилований бензин „Преміус” з ОЧД 95 (ОЧМ 85). В даний час всі моделі автомобілів переводяться на використання тільки неетилованих бензинів.

## 4. ПАЛИВА ДЛЯ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ

- 4.1. Умови застосування і основні вимоги до дизельних палив*
- 4.2. Умови згоряння палива та забезпечення м'якої роботи двигуна*
- 4.3. Прокачувальна здатність і сумішоутворюючі властивості дизельних палив*
- 4.4. Оцінка самозаймистості і цетанове число палива*
- 4.5. Нагароутворюючі і корозійні властивості палива*
- 4.6. Асортимент палив для дизельних двигунів та область їх застосування*
- 4.7. Закордонні класифікації дизельних палив*

### 4.1. Умови застосування і основні вимоги до дизельних палив

Дизельні двигуни дуже широко розповсюджені у багатьох галузях народного господарства. У сільськогосподарському виробництві використовують швидкохідні дизелі, в яких швидкість руху поршня перевищує 6,5 м/с, а частота обертання колінчастого вала – більше  $1000\text{ с}^{-1}$ . Їх встановлюють на тракторах, комбайнах, самохідних шасі, а також великовантажних автомобілях. У перспективі планується перевести на дизельні двигуни більшість вантажних автомобілів і деякі легкові.

Основна перевага дизельних двигунів – їх висока економічність, питома витрата палива на 25...30% нижча ніж у карбю-

---

---

раторних двигунів. Дизельне паливо дешевше, менш вибухо- і пожежо небезпечне у порівнянні з бензиновим.

Дизельне паливо – це складна суміш парафінових, ароматичних вуглеводнів і їх похідних з числом атомів вуглецю 10...20, середньої молекулярної маси 200...250, які википають у межах 170...380 °С. Прозора, більш в'язка ніж бензин, масляниста рідина від жовтуватого до світло-коричневого кольору густиною 0,78...0,86 кН/м<sup>3</sup>. Одержують дизельне паливо прямою перегонкою нафти з додаванням до 20% продуктів каталітичного крекінгу.

Робочий процес дизелів значно відрізняється від карбюраторних двигунів. Тут паливо з киснем змішується безпосередньо в камері згоряння, що визначає специфічні вимоги до якості палива. Велико оборотні дизелі мають високу ступінь стиску  $\varepsilon = 16...20$ . У цих двигунах в стиснуте у циліндрі до 3...5 МПа і за рахунок цього розігріте до 600...800 °С повітря через форсунку вприскується порція палива. У циліндрі воно перемішується з гарячим повітрям, випаровується, самозаймається та згорає. За дуже малий проміжок часу (30...25<sup>0</sup> оберту колінчастого вала) проходять всі складні процеси утворення суміші та згоряння палива. Звичайно, чим швидкохідніший двигун, тим менше часу, яке відводиться на ці процеси. При однаковій частоті обертання колінчастого вала у карбюраторних двигунах на утворення суміші та згоряння відводиться у 10...15 разів більше часу ніж в дизелях.

Надійна та економічна робота дизеля можлива тільки при правильному підборі палива, встановленні оптимального кута випередження вприскування, коли згоряння повністю закінчується через декілька градусів повороту колінчастого вала після ВТМ і не відбувається догоряння під час робочого ходу. В іншому випадку падає потужність, підвищується витрата палива, випускні гази стають чорними.

Паливо для швидкохідних дизелів повинно відповідати наступним експлуатаційним вимогам:

- мати хорошу прокачуваність при різних температурах навколишнього середовища;
- мати хороший розпил, сумішеутворення та займання;
- володіти відповідною в'язкістю;
- не мати сірчаних сполук, органічних та мінеральних кислот, води, механічних домішок;
- при згорянні виділяти більший обсяг тепла;
- бути стабільними і не змінювати властивості при довготривалому зберіганні.

### **4.2. Умови згоряння палива та забезпечення м'якої роботи двигуна**

Більш висока у порівнянні з карбюраторним економічність дизельних двигунів зумовлюється своєчасним займанням та повним згорянням вприснутого палива. Ці фактори узагальнюються збільшенням ступеня стиснення ( $\epsilon=14\dots 20$ ) та забезпеченням достатньою кількістю кисню для згоряння (коефіцієнта надлишку кисню  $\alpha=1,4\dots 1,5$ ) палива.

Від моменту вприскування палива в камеру згоряння і до виникнення горіння та виділення тепла, проходить визначений, хоч і дуже не великий, проміжок часу. Температура, до якої паливо повинно бути нагріто, щоб почалось його займання, називається *температурою самозаймання*. Вона залежить від хімічної складової палива та зовнішніх умов (тиску, складу робочої суміші, типу камери згоряння тощо).

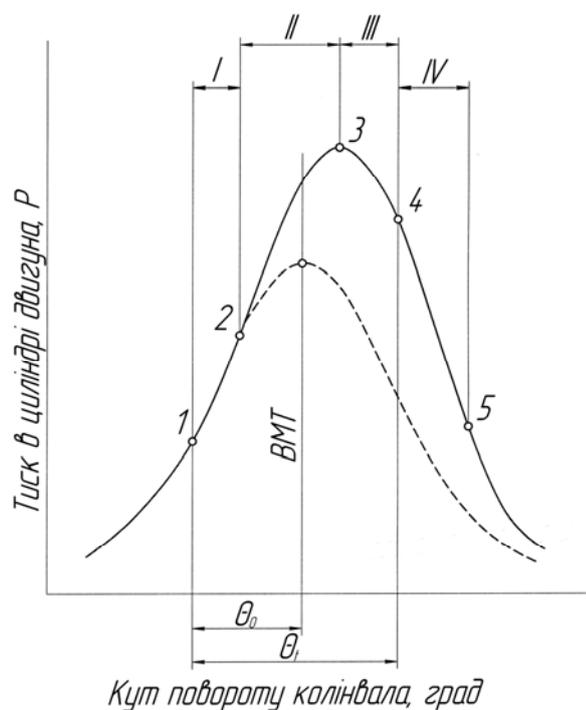


Рис. 1.30. Розгорнута індикаторна діаграма дизельного двигуна

Процес згоряння палива, представлений у вигляді розгорнутої індикаторної діаграми (рис. 1.30), може бути поділений на чотири фази: I – фаза затримки (запізнення) самозаймання; II – фаза швидкого горіння, або період інтенсивного наростання тиску; III – фаза уповільненого горіння; IV – фаза догорання.

Із заданим випередженням вприскування палива  $\theta_0$  у точці 1 до прибуття поршня до ВМТ починається вприскування палива і продовжується до точки 4 із загальним  $\theta_t$ . Однак згорання палива і супутнього йому інтенсивного збільшення температури та тиску в циліндрі не відмічається до точки 2. Повільне збільшення тиску відбувається внаслідок продовження ходу стискання.

Відрізок I діаграми від точки 1 до точки 2 представляє *фазу затримки самозаймання*. В цей проміжок часу вприснуте паливо розсіюється, розігрівається та випаровується, причому утворювані пари палива взаємно дифундують. Разом з тим протікають і займальні окислювальні процеси, котрі завершу-

ються самозайманням утвореної суміші парів палива та повітря в одному або декількох осередків, де виявились найбільш сприятливі умови для їх виникнення. Тепло, яке виділяється при появі осередку полум'я, прискорює закінчення процесів фізичної та хімічної підготовки займання усієї кількості палива, яке поступило до камери згоряння. Продовжування першої фази залежить і від розміру крапель розсіяного палива. Чим вони менші, тим швидше паливо нагрівається та випаровується.

Потім починаються процеси, які характеризують фазу II швидкого згоряння. Кількість палива, що згорає у цій фазі, безпосередньо залежить від тривалості фази I. Очевидно, чим більша фаза I, тим більше палива накопичується у камері згоряння. Відповідно цьому виділення тепла та наростання тиску у фазі II процесу відбувається інтенсивніше, що на індикаторній діаграмі відображається збільшенням крутизни лінії 2 – 3, тобто збільшенням значення  $dp/d\phi$ .

При досягненні деякої інтенсивності зростання тиску  $dp/d\phi$  робота двигуна робиться більш жорсткою, у результаті чого утворюються передумови для виникнення ударної хвилі. Якщо ж фаза I, і буде скорочуватись, то зменшиться і кількість палива, яке надходить у камеру згоряння. У цьому випадку тиск під час фази II процесу згоряння нарощується більш повільно і двигун буде працювати м'якше (без стуків).

Отже, м'яка або жорстка робота двигуна визначається характером протікання фази II, тобто інтенсивністю зростання тиску  $dp/d\phi$ , яка, в свою чергу, залежить від тривалості фази I та затримки самозаймання.

Одразу ж після фази II починається *фаза III повільного згоряння палива*, при якій ще продовжується вприскування палива. Ця фаза триває до того часу, коли покращиться надходження палива у камеру згоряння (до точки 4).

Потім вступає у дію *фаза IV догорання* палива, яка протікає під час робочого ходу при зниженні тиску в циліндрі. Збільшення тривалості цієї фази веде до підвищення температури відпрацьованих газів, посиленню димності випуску, пони-

---

---

женню ККД двигуна. Тому потрібно максимально скорочувати періоди фази догоряння. Практично ця фаза характеризує невизначений час протікання процесу догоряння та залежить від багатьох факторів (як від зовнішніх, так і від хімічного складу самого палива).

Інтенсивність наростання тиску залежить від кількості палива, що надходить в циліндр у період затримки самозаймання. Чим триваліший цей період, тим більше надійде палива в циліндр. Виділення теплоти і відповідно наростання тиску в циліндрі відбувається різко, тому робота двигуна буде супроводжуватися стуками і її називають “жорсткою”. «Жорстка» робота дизельного двигуна так само небажана, як і детонація в карбюраторних двигунах.

Режим роботи двигуна оцінюється зростанням тиску в камері згоряння на  $1^{\circ}$  повороту колінчастого вала. Якщо тиск зростає на 0,25...0,60 МПа – двигун працює м’яко, при 0,6...0,8 МПа – жорстко, а вище 0,8 МПа – дуже жорстко. Таким чином для нормальної роботи двигуна необхідно щоб паливо самозаймалось у чітко визначений момент і потім енергійно згорало, але достатньо плавно із зростанням тиску не більше 0,4...0,6 МПа на один градус повороту колінчастого вала. У цьому випадку буде, так звана, “м’яка” робота двигуна, при якій розвивається максимальна потужність і забезпечується необхідна паливна економічність.

Порівнюючи вплив окремих факторів на жорсткість роботи дизельного двигуна та детонацію карбюраторного двигуна, які характеризуються появою стуків, потрібно відмітити, що як збільшення кута випередження вприскування палива, так і збільшення кута займання аналогічно погіршують роботу двигуна. Однаковий ефект дає і підвищення частоти обертання колінчастого вала: у карбюраторних двигунів зменшується детонація, а у дизельного знижується жорсткість роботи. Це пояснюється деякими загальними рисами протікання фізичних та хімічних процесів згоряння палива. Так, для відмічених факторів головну роль відіграє час, який відводиться на процес

окислення та згоряння палива. Дійсно, в карбюраторних двигунах скорочення часу на окислювальні процеси сприяє пониженню детонації. У дизельному ж двигуні зменшується період затримки самозаймання та швидкого займання, що сприяє зниженню інтенсивності наростання тиску та робить роботу двигуна більш м'якою.

Усі інші фактори (ступінь стиску, температура деталей двигуна, з якими вступає в контакт робоча суміш, температура засмоктаного повітря та його щільність, наявність наддуву тощо) надають прямо протилежну дію на характер роботи (виникнення стуків) двигунів цих типів.

Щоб пояснити таку розбіжність, необхідно замітити наступне. Швидкість протікання процесів сумішеутворення та окислення під час фази затримки самозаймання палива залежить від температури. З її підвищенням ці процеси прискорюються, а це значить, тривалість фази затримки зменшується. Тому фактори, які сприяють підвищенню температури у дизельному двигуні до початку і під час впорскування, забезпечують більш м'яку його роботу; у карбюраторному ж двигуні ті ж фактори ведуть до виникнення детонаційного згоряння.

Якщо ж розглядати конструктивні фактори, такі, скажімо, як підвищення ступеня стиску, використання наддуву тощо, то вони приводять не тільки до зростання тиску, але й до підвищення температури, а це сприяє прискоренню хімічних реакцій, що для дизельних двигунів значить більш м'яку роботу, а для карбюраторних двигунів підсилення передумов до детонації. Це можна проілюструвати кривими на рисунку 1.31, який показує вплив ступеня стиску  $\epsilon$  на період  $t$  затримки самозаймання. З ростом  $\epsilon$  температура та тиск у камері згоряння збільшується, що призводить до зменшення періоду затримки самозаймання.

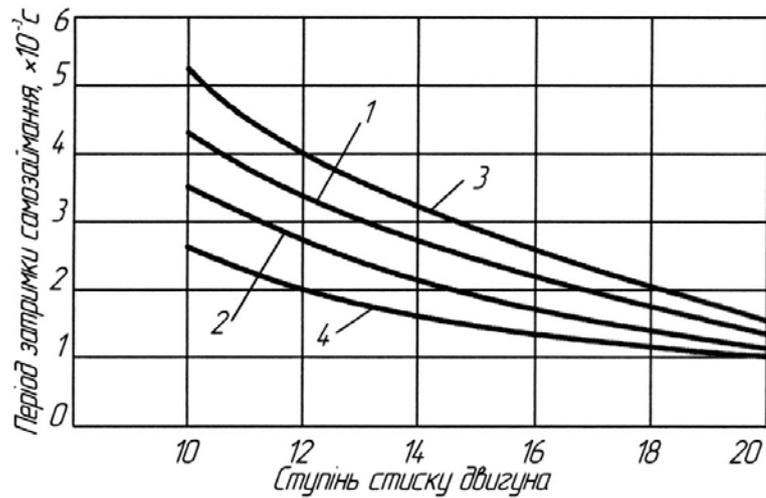


Рис. 1.31. Вплив ступеня стиску на період затримки самозаймання:

- 1 – дизельне пальне ДЛ; 2 – парафіно-нафтенова частина палива ДЛ;  
3 – ароматична частина палива ДЛ; 4 – синтин

Протилежний вплив дає і хімічний склад палива. Наприклад, якщо ароматичні вуглеводи сприяють підвищенню детонаційної стійкості бензинів, то їх кількість у дизельному паливі викликана великою затримкою до утворення окисних сполучень, збільшує фазу періоду затримки самозаймання та призводить до жорсткої роботи. Та, навпаки, збільшення вмісту у дизельному паливі нормальних парафінів, у силу їх схильності до легкого утворювання окисних сполучень, скорочує період затримки самозаймання та сприяє м'якій роботі.

Попутно можна відмітити інші конструктивні та експлуатаційні фактори, які оказують вплив на характер роботи дизельного двигуна. Так, підвищення температури та тиску повітря на вході в циліндри двигуна також сприяє зниженню періоду затримки самозаймання. Не мале значення має і своєчасність вприскування палива. Якщо вприскування раннє у порівнянні з оптимальним, то за рахунок займання та передчасного згоряння частини палива може розвиватися значний тиск ще до приходу поршня у ВМТ, який викличе втрату потужності на переборення тиску горючих газів, що також недопустимо. Таким же чином на процеси горіння впливає і конструкція камери згоряння. Вона

повинна забезпечити інтенсивне хвиле утворення, що буде скорочувати час розігрівання та випаровування палива, яке було вприснуте.

Важливий і правильний вибір матеріалу для деталей циліндро-поршневої групи. Наприклад, з матеріалу поршнів краще чавун, оскільки із-за меншої теплопровідності температура чавунного поршня в одних і тих же умовах виявиться вище алюмінієвого, що в свою чергу буде сприяти більш інтенсивному нагріванню палива та зменшенню періоду самозаймання.

### **4.3. Прокачувальна здатність і сумішоутворюючі властивості дизельних палив**

Надійність подачі дизельного палива залежить від прокачувальної здатності, тобто здатності його проходити через елементи системи живлення, головним чином через фільтри грубого і тонкого очищення. Фільтри грубої очистки затримують механічні домішки розміром більше 50...60 мкм, тонкої більше 2...5 мкм. При порушенні їх роботи зменшується, а іноді зовсім припиняється циклова подача палива, падає тиск вприскування палива тощо.

На характер надходження палива через систему живлення дизеля впливають його в'язкість і низькотемпературні властивості, а також забрудненість механічними домішками і водою.

Якщо паливо має високу в'язкість та його фільтрація обмежена – це може призвести до порушення подачі палива насосом. При малій в'язкості порушується дозування палива внаслідок просочування його між плунжером і гільзою насоса високого тиску. Крім того, дизельне паливо є мастильним матеріалом для прецизійних деталей системи живлення, тому мінімальна і максимальна його в'язкість регламентується ГОСТом.

В'язкість і низькотемпературні властивості палива взаємопов'язані і негативно впливають на його прокачувальну здатність при низьких температурах.

Подача палива при низьких температурах може порушуватися внаслідок забивання фільтрів кристалами парафіну. Такий стан палива визначається температурою помутніння. Це температура, при охолодженні до якої паливо втрачає прозорість в наслідок виділення мікро кристалів парафіну, церезину і льоду. Для надійної подачі палива у зимовий період температура помутніння повинна бути на 3...5 °С вище тієї, при якій воно використовується.

Низькотемпературні властивості палива характеризують температура кристалізації і температура застигання. За температуру кристалізації приймають таку температуру, при якій в паливі з'являються перші кристалики, які можна побачити неозброєним оком. Температурою застигання називають температуру, при якій налите у пробірку паливо, під час охолодження в певних умовах, досягне такого стану, що не змінює положення меніску протягом однієї хвилини при нахиленні пробірки на 45°. Застигання палива настає при зниженні температури на 5...15 °С після його помутніння. Температура застигання – це важливий показник дизельного палива, який визначає можливість його використання при низьких температурах і входить в умовне позначення зимових дизельних палив. Для надійної роботи системи живлення найнижча температура навколишнього середовища повинна бути на 10...15 °С вищою температури застигання.

Температури помутніння і застигання не завжди відтворюють реальну поведінку дизельного палива при його використанні в зимових умовах. Більш точніше характеризує прокачувальну здатність дизельного палива при низьких температурах *гранична температура фільтрації палива*. Це температура, при якій паливо, після охолодження в певних умовах, здатне ще проходити через фільтри з установленою швидкістю.

Визначають граничну температуру фільтрації за допомогою спеціального приладу (рис. 1.32).

Паливо під не великим розрідженням (200 мм. вод. ст.) засмоктується через стандартну сітку (№ 004), закріплену в патроні, у скляну бюретку місткістю 20 мл. Випробування проводя-

ться послідовно, охолоджуючи паливо на один градус. Температуру, при якій припиняється фільтрування палива або час заповнення бюретки перевищить 60 с, приймають за граничну температуру фільтрації.

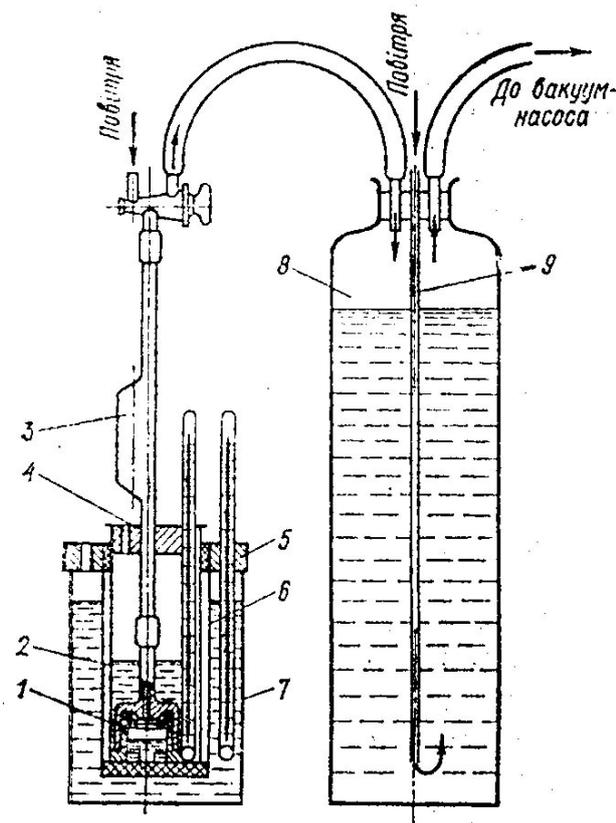


Рис. 1.32. Схема приладу для визначення граничної температури фільтрації:

1 – фільтр; 2 – ємність для палива; 3 – бюретка; 4 – пробка коркова;  
5 – кришка; 6 – ємність-сорочка; 7 – ємність для охолодної суміші; 8 – ємність постійного вакууму; 9 – трубка скляна для сполучення з атмосферою

Дослідження показують, що гранична температура фільтрації дизельних палив, як правило буває нижче температури помутніння, але вище температури застигання. Однак положення її в цьому інтервалі температур може бути різним: або ближче до температури помутніння, або – до температури застигання.

На нафтопереробних заводах покращують низькотемпературні властивості дизельних палив видаленням твердих вуглеводів при депарафінізації або додаванням присадок – депресорів. При цьому застосовують присадки суміші сополімерів етилену з вінілацетатом, які суттєво на  $20^{\circ}\text{C}$  і більше понижують температуру застигання і граничну температуру фільтрації палив, але практично не змінюють температуру помутніння.

В умовах експлуатації температуру застигання і помутніння понижують, розбавляючи літнє дизельне паливо реактивним паливом або бензином, в яких температура початку кристалізації не вище мінус  $60^{\circ}\text{C}$ . При цьому температура помутніння знижується на  $10\text{...}11^{\circ}\text{C}$ , а температура застигання – на  $20\text{...}22^{\circ}\text{C}$ . Однак використовувати кількість розчинника більше 50% (за об'ємом) не рекомендується, так як значно знижується цетанове число і в'язкість суміші, що призводить до зниження надійності і економічності дизеля.

На процес сумішоутворення дизельного палива з повітрям в основному впливають конструктивні особливості двигуна і властивості палива.

Сучасні дизельні двигуни мають нерозділену (передкамерну і вихрекамерну) камеру згорання. Форма камери згорання, число форсунок, кількість, форма і розмір соплових отворів форсунки, тиск і напрям вприскування палива значною мірою впливають на процес сумішоутворення в дизелях. Всі ці конструктивні особливості дизельних двигунів вибирають експериментально таким чином, щоб забезпечити належне сумішоутворення.

Процес сумішоутворення в дизельних двигунах залежить також від фізико-технічних властивостей палива: в'язкості, густини, фракційного складу, тиску насиченої пари, поверхневого натягу тощо.

Збільшення в'язкості палива веде до збільшення крапель у факелі, що значно погіршує його розпилення і випаровування. Паливо з великою в'язкістю догорає в кінці такту розширення, знижуючи економічність і підвищуючи димність відпрацюва-

них газів. З другого боку, паливо з малою в'язкістю також погіршує процес сумішоутворення. При його розпилюванні утворюються дрібні краплі, швидкість яких у щільному повітрі швидко падає, утворюючи укорочений факел. Внаслідок цього не весь об'єм камери згоряння використовується для приготування однорідної суміші і не все повітря бере участь у сумішоутворенні, що призводить до надлишку палива і не повного його згоряння. У зв'язку з цим в'язкість дизельного палива повинна бути цілком оптимальною, щоб забезпечити належне сумішоутворення.

Густина дизельного палива суттєво впливає на процес сумішоутворення, приблизно так само, як і в'язкість. З підвищення густини збільшується довжина факела, знижується економічність і зростає димність відпрацьованих газів. Густина дизельного палива при температурі  $20^{\circ}\text{C}$  повинна бути в межах  $(0,830\dots 0,860) \cdot 10^{-4} \text{ Н/м}^3$ .

Важливою характеристикою для розпилювання дизельного палива є поверхневий натяг – розмір крапель пропорційний величині поверхневого натягу. Із збільшенням фракційного складу палива, підвищується його густина, а поверхневий натяг збільшується. Для палив швидкохідних дизелів поверхневий натяг знаходиться у межах  $0,027\dots 0,030 \text{ Н/м}$ , а для тихохідних – більше  $0,030 \text{ Н/м}$ .

Дизельне паливо повинно мати цілком певний фракційний склад. Використання палива як важкого, так і легкого фракційного складу призводить до порушення роботи двигуна. У першому випадку в наслідок його незадовільного випаровування відбувається несвоєчасне самозаймання і неповне згоряння, що призводить до змивання масла зі стінок циліндрів, збільшення нагару, розрідження масла в картері тощо. У другому випадку ускладнюється пуск двигуна, збільшується жорсткість його роботи. Вплив фракційного складу палива на сумішоутворення різних типів двигунів не однаковий. Двигуни з розділеними камерами згоряння менш чутливі до фракційного складу палива, ніж двигуни з нерозділеними камерами згоряння.

---

---

Стандартом передбачається визначати температуру перегону 50 і 96 % палива:  $t_{50\%}$  – впливає на його пускові властивості;  $t_{96\%}$  – є температурою кінця перегонки і свідчить про наявність важких фракцій, які погіршують сумішоутворення.

У зв'язку з “дизелізацією” автомобільного парку і зростання потреб у дизельному паливі, вивчаються питання розширення ресурсів таких палив шляхом зміни їх фракційного складу як за рахунок підвищення температури кінця кипіння, так і за рахунок зниження температури початку кипіння.

Палива з підвищеною температурою кінця кипіння називають обваженими (ОФС). Лабораторні дослідження і випробування показують, що можна збільшити ресурси дизельного палива на 3...4% за рахунок більш глибокого відбору з нафти прямогонних фракцій з температурою википання на 25...30 °С вище температури википання стандартного дизельного палива.

Полегшення фракційного складу за рахунок введення бензинових фракцій покращує експлуатаційні властивості обважених палив. Таким чином при значній “дизелізації” автомобільного парку перспективним буде використання єдиного дизельного палива з температурою початку кипіння 66...80 °С, яке називається – дизельне паливо широкого фракційного складу (ШФС).

#### **4.4. Оцінка samozaimistosti і цетанове число палива**

*Samozaimistist' – це характеристика тих властивостей дизельного палива, які впливають на м'якість і жорсткість роботи дизельного двигуна. Для нормальної роботи дизеля необхідно, щоб паливо samozaimalos' у чітко визначений момент і потім енергійно згорало, викликаючи інтенсивне, але достатньо плавне підвищення тиску, не перевищуючи 0,4...0,6 МПа на один градус повороту колінчастого валу. У цьому випадку буде, так звана, “м'яка” робота двигуна, при якій розвивається максимальна потужність і забезпечується необхідна паливна економічність. Якщо samozaimannja запізнюється, то це призводить до жорсткої роботи двигуна. Визначають samozaimistist', порів-*

нюючи роботу стандартного двигуна на досліджувальному паливі і на спеціально підібраній суміші еталонних палив.

Оціночним показником, що характеризує самозаймистість дизельного палива, є цетанове число, яке визначається методом порівняння займистості палива із займистістю суміші двох вуглеводнів (двох еталонів). В якості одного еталона прийнятий цетан ( $C_{16}H_{34}$ ) – парафіновий вуглевод нормального складу, період затримки самозаймання якого малий. Його цетанове число (ЦЧ) приймають за 100. У якості другого еталона прийнятий альфаметилнафтелін ( $C_{10}H_7CH_3$ ) – ароматичний вуглевод із циклічним бензольним ядром, період затримки самозаймання якого великий, і цетанове число дорівнює 0.

*Цетанове число* дорівнює відсотковому вмісту (за об'ємом) цетану в такій суміші з альфаметилнафталіном, що рівноцінна даному паливу за самозаймистістю при випробуванні в стандартних умовах. Визначають цетанове число на спеціальних установках, конструкція яких забезпечує зміну ступеня стиску у межах 7...23, різними методами: змінами критичного ступеня стиску, запізнення самозаймання, збігу спалахів тощо. Найбільшого поширення набув метод збігу спалахів, суть якого така. При роботі установки на дизельному паливі, ЦЧ якого визначають, змінюючи ступінь стиску добиваються такого положення, щоб при вприскуванні палива за  $13^0$  повороту колінчастого вала до ВМТ самозаймання горючої суміші починалось рівно у ВТМ, про що повідомляють спеціальні датчики. Потім підбирають таку суміш цетану з альфаметилнафтеліном, яка при тому ж ступеню стиску мала б такий же період затримки самозаймання ( $13^0$ ). Вміст цетану в такій суміші в відсотках за об'ємом і приймають за цетанове число.

Цетанове число дизельних палив залежить від їх вуглеводневого складу, структури і молекулярної маси (табл. 1.15).

Таблиця 1.15

## Цетанові числа деяких вуглеводнів

| Група      | Найменування              | Формула                 | ЦЧ  |
|------------|---------------------------|-------------------------|-----|
| Парафінові | Н – декан                 | $C_{10}H_{22}$          | 77  |
|            | Цетан                     | $C_{16}H_{34}$          | 100 |
| Нафтенові  | Декалін                   | $C_{10}H_{20}$          | 48  |
|            | Метилдіпропілдекалінметан | $C_{10}H_{17}C_8H_{17}$ | 21  |
| Ароматичні | Альфаметилнафталін        | $C_{10}H_7CH_3$         | 0   |
|            | Альфаоктилнафталін        | $C_{10}H_7C_8H_{17}$    | 18  |

Знаючи груповий вуглеводний склад палива визначають цетанове число за формулою (1.33)

$$ЦЧ = 0,85 П + 0,1 Н = 0,2 А, \quad (1.33)$$

де П, Н, А – відповідно вміст у паливі парафінових, нафтенових і ароматичних вуглеводнів, у відсотках за масою.

Цетанове число можна обчислити і знаючи густину та кінематичну в'язкість

$$ЦЧ = (V_{20} + 17,8) \cdot 1,5879 / P_4^{20}, \quad (1.34)$$

де  $V_{20}$  – в'язкість палива при  $20^{\circ}C$ ,  $mm^2/s$ ;

$P_4^{20}$  – густина палива,  $g/m^3$ .

За цими формулами можна лише приблизно знайти цетанове число. Вони не придатні при визначенні цетанових чисел для палив з присадками, які підвищують цетанове число, а також для палив, у склад яких входять бензинові фракції.

Враховуючи, що вуглеводні з високим цетановим числом мають низьку детонаційну стійкість, тобто низьке октанове число, виведено емпіричну залежність між ними

$$ЦЧ = 60 - 0,4/2. \quad (1.35)$$

За кордоном для характеристики самозаймання дизельного палива, поряд з цетановим числом, використовують показник – дизельний індекс (ДІ). Між дизельним індексом і цетановим числом палива існує така залежність

|                         |    |    |    |    |    |    |    |
|-------------------------|----|----|----|----|----|----|----|
| <i>Дизельний індекс</i> | 20 | 30 | 40 | 50 | 62 | 70 | 80 |
| <i>Цетанове число</i>   | 30 | 35 | 40 | 45 | 55 | 60 | 80 |

Цей показник нормується і у вітчизняній технічній документації на дизельне паливо, яке поставляється на експорт.

Оптимальне значення цетанового числа 40...50. Використання палива з цетановим числом менше 40 призводить до жорсткої роботи двигуна, а більше 50 – до збільшення питомої витрати палива за рахунок зменшення повноти згоряння. Влітку можна успішно застосовувати паливо з цетановим числом 40, а взимку, для забезпечення пуску холодного двигуна, цетанове число повинно бути не менше 45.

Величина цетанового числа впливає на пускові властивості дизельного палива. З підвищенням цетанового числа пуск двигуна полегшується (рис. 1.33). Однак це стосується палив, які не значно відрізняються за фракційним складом. При більшій різниці у фракційному складі важке паливо з високим цетановим числом часто має гірші пускові властивості, ніж легке паливо з більш низьким цетановим числом (рис. 1.34).

Цетанові числа можуть бути підвищені двома способами: регулюванням вуглеводного складу або введенням нових присадок.

Перший спосіб заснований на тому, що різні групи вуглеводнів мають різну самозаймистість (див. табл. 1.15). Таким чином цетанове число палив можна суттєво підвищити, збільшуючи концентрацію нормальних парафінів і знижуючи вміст ароматиків. Але із-за підвищеної температури плавлення нормальних парафінів, у порівнянні з іншими групами вуглеводнів, їх

значний вміст у зимових марках дизельних палив не допустимий.

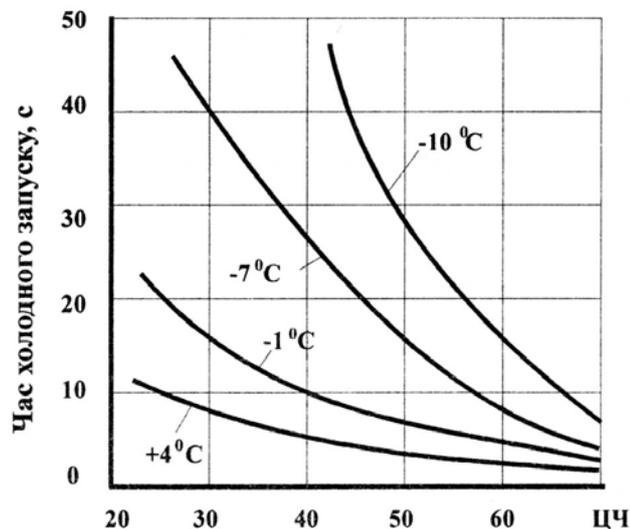


Рис. 1.33. Залежність часу пуску холодного дизельного двигуна від цетанового числа палива при різних температурах повітря (частота обертання колінчастого вала  $100 \text{ хв}^{-1}$ )

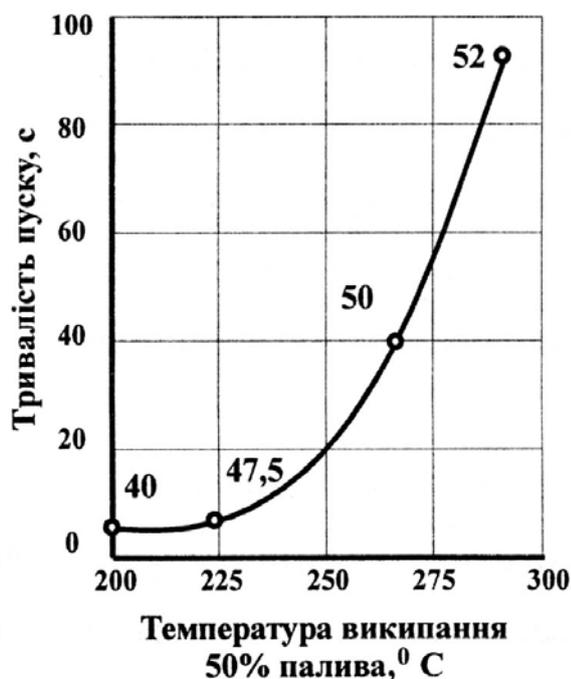


Рис. 1.34. Залежність часу пуску дизельного двигуна від температури википання 50% палива (числа над точками – цетанові числа)

Другий спосіб забезпечує найбільше підвищення цетанового числа. Механізм дії присадок оснований на їх здатності порівняно легко виділяти з свого складу кисень. Як сильні окислювачі вони прискорюють початкові передполуменеві реакції, сприяють розгалуженню окислювальних ланцюгів і утворення нових активних центрів реакції. Ефективність дії найпоширеніших присадок наведено нижче.

*Ефективність присадок, що підвищують цетанове число:*

| Присадка (1%, за масою) | Підвищення цетанового числа, од. |
|-------------------------|----------------------------------|
| Ізопропілнітрат         | 17                               |
| Бутилнітрат             | 19                               |
| Амільнітрат             | 23                               |
| Пероксид бутила         | 20                               |
| Пероксид гептила        | 16                               |

#### **4.5. Нагароутворюючі і корозійні властивості палива**

Нагароутворюючі властивості дизельного палива характеризують його схильність до утворення в результаті згоряння специфічних відкладень на деталях циліндро-поршневої групи та газорозподільчого механізму, що призводить до значних порушень в роботі двигуна (погіршення тепловіддачі, зависання клапанів, підгоряння голки форсунки, закоксування поршневих кілець тощо).

Серед факторів, які безпосередньо впливають на процес нагароутворення, необхідно відмітити наступні: підвищення в'язкості палива, великомолекулярні смолисто-асфальтові утворення та непридільні вуглеводні, сірчані з'єднання, механічні суміші. В наслідок цього, з метою зменшення впливу палива на нагароутворення в двигуні, необхідно обмежити або повну відсутність небажаних в паливі цілого ряду механічних сумішей та з'єднань.

Хоча в даний момент немає достатньо точного метода оцінки нагароутворюючих властивостей палива, однак загально прийняті показники коксуємості у деяких ступенях дозволяють думати про схильність палива до відкладання нагару (особливо для порівняння оцінки різних партій товару одного і того ж палива при приймальних іспитах).

Коксуємість палива визначається у спеціальному приборі (рис. 1.35). Фарфоровий тигель 1 з навіскою палива, що підлягає випробуванню, ставлять у залізний тигель 2, який служить повітряною банею, і разом їх поміщають в тигель 3 з піском, який виконує функцію пісочної бані. Потім тиглі установлюють у залізному азбестованому муфелі 4 та закривають ковпаком 5. При нагріванні тигелів випробуване паливо коксується, а утворенні пари та газу підпалюються на виході з ковпака. Процес коксування закінчується, коли закінчується виділення газів, на що вказує згасання полум'я. Після цього фарфоровий тигель охолоджують у ексикаторі та важать. Коксуємість, або, як іноді називають, коксовану кількість палива, виражається у відсотках від узятій навіски.

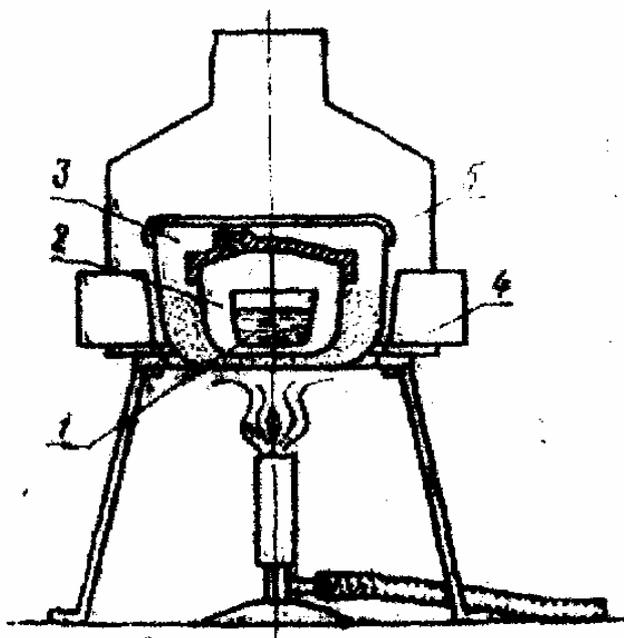


Рис. 1.35. Схема пристрою для визначення коксуємості нафтопродуктів

Стандарт на дизельне паливо допускає коксуємість не більше 0,05%. Але, оскільки це значення мале, визначається коксуємість 10% залишку, отриманого після відкачування з колби при фракційній розгінці 90% залитого в неї палива. В цьому випадку коксуємість 10% залишку допускається не більше 0,4 – 0,5%.

В процесі роботи двигуна на його деталях відкладаються не тільки нагар, а ще й лакоподібні елементи, котрі також являються продуктами високотемпературного окислення непередільних вуглеводнів та інших з'єднань.

Для оцінки схильності палива до лакоутворення розроблені методика та спеціальний пристрій. Щоб визначити схильність палива до шлакоутворення 1 мл палива наливають у алюмінієву чашку та підвергають випарюванню у термостаті-лакоутворювачі при температурі 250 °С. Коли закінчується випарювання палива, в чашці залишить лакова плівка. Після охолодження чашку важать і таким чином встановлюють масу утвореного лаку. Результат перераховують на 10 мл палива. Чим легше паливо за фракційним складом, тим менше утворюється лаку.

В діючі стандарти на дизельне паливо показник коксуємості не входить, і оцінку палива за нагароутворюючим властивостям можна робити за *отриманням смол*. Для літніх сортів палива воно не повинно бути більше 60, а для зимових – не більш 40 мг/100 мл палива.

До лако- та нагароутворення схильні непередільні вуглеводні палива, з збільшенням вмісту яких ці процеси інтенсифікуються. Вміст непередільних вуглеводнів можна оцінювати за *йодним числом*, яке представляє собою кількість йоду (г), яке вступило в реакцію зі 100 г палива. В дизельних паливах йодне число не повинно бути більше 6 г/100 г палива.

*Зольність* характеризує мінеральний залишок після спалювання палива у атмосфері повітря при температурі 800...850 °С. Зольність палива визначають у фарфоровому тиглі, котрий зважують до і після озолення палива. Залишок золи в тиглі виражають у відсотковому відношенні до навіски палива. Зольність дизельних палив не повинна перевищувати 0,01–0,02%. Із збіль-

---

---

шенням зольності палива значно зростає знос елементів системи живлення та деталей циліндро-поршневої групи двигуна.

*Сірчані сполучення* палива створюють більший вплив на утворення нагару і головним чином на його стан. Сірка, концентрується у нагарах та відкладеннях, робить їх більш твердими та важко знищувальними. Так, випробуваннями встановлено, що якщо при вмісті в паливі сірки 0,08%, в нагарах її містився 1%, а щільність відкладень складала 0,03 г/см<sup>3</sup>, то при підвищенні вмісту сірки в паливі до 1,5% в нагарах її вже було 9%, а щільність відкладень досягла 0,5 г/см<sup>3</sup>. При підвищенні вмісту сірки в паливі, окрім корозійного характеру, підвищуються знос деталей, щільність відкладень та утворення нагару.

*Корозійні властивості палива*, як вже відмічалось, визначаються в основному такими факторами, як утримання в паливі водорозчинних кислот та луг, органічних кислот, води та сірчанних сполучень. У відповідності з ГОСТом у дизельному паливі не допускається наявності *водорозчинних кислот* та луг, а також води, оскільки вони сильно впливають на корозію деталей двигуна.

*Органічні кислоти*, при їх наявності в паливі, теж створюють корозійну дію. Проведеними випробуваннями двох дизельних палив (з кислотністю 4 та 50 мг КОН/100 мл) на двохтактному дизельному двигуні за 560 ч роботи встановлено, що при використанні палива з підвищеною кислотністю продуктивність форсунок знизилась у 7 разів, знос плунжерних пар та першого компресійного кільця підвищилась більш ніж у 2 рази. За технічними умовам кислотність дизельних палив не повинна перевищувати 5 мг КОН/100 мл.

Вирішальний вплив на корозійну агресивність дизельних палив має вплив і характер сірчистих сполук. Корозійна агресивність дизельних палив підвищується зі збільшенням загального вмісту сірки. У даний час нафтопродукти одержують в основному з сірчистих нафт, так як запаси малосірчистих нафт обмежені. В результаті їх перегонки отримують газойлеві і соляріві дистилятори з вмістом сірки до 1,0...1,3%. Сірки з дисти-

ляторів видаляються за допомогою різних способів очистки, які дозволяють знизити її вміст до 0,2...0,5%.

Активних сірчистих сполук (сірководню, елементної і меркаптанової сірки) при випуску палива із заводу повинно бути так мало, щоб корозійні випробування, тобто пробу на мідну пластинку, воно витримувало.

Корозійні властивості дизельних палив обумовлені не стільки загальним вмістом сірки в паливі, скільки вмістом меркаптанів. Спрацювання плунжерних пар при роботі на паливі з вмістом 0,025% меркаптанової сірки (рис.1.36) збільшується у два рази у порівнянні з спрацюванням на паливі без меркаптанів. Тому вміст меркаптанової сірки в паливі повинен бути не більше 0,01%.

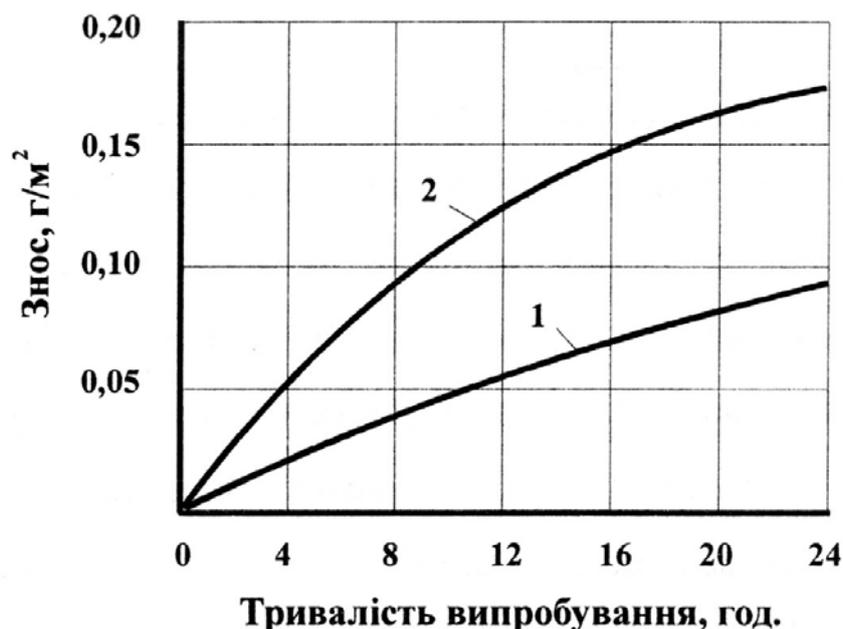


Рис. 1.36. Залежність спрацювання плунжерних пар від вмісту меркаптанової сірки:  
1 – відсутня; 2 – 0,025 %

Загальна кількість сірки, яка міститься в дизельному паливі, суттєво впливає на працездатність дизельного двигуна. Узагальнюючи експериментальні дослідження, можна стверджувати, що при зростанні вмісту сірки з 0,2 до 0,5% знос становить 15%, а

при використанні сірчистих палив із вмістом сірки до 1,0% знос прискорюється майже в два рази. На рисунку 1.37 показано вплив сірки на інтенсивність зносу поршневих кілець.

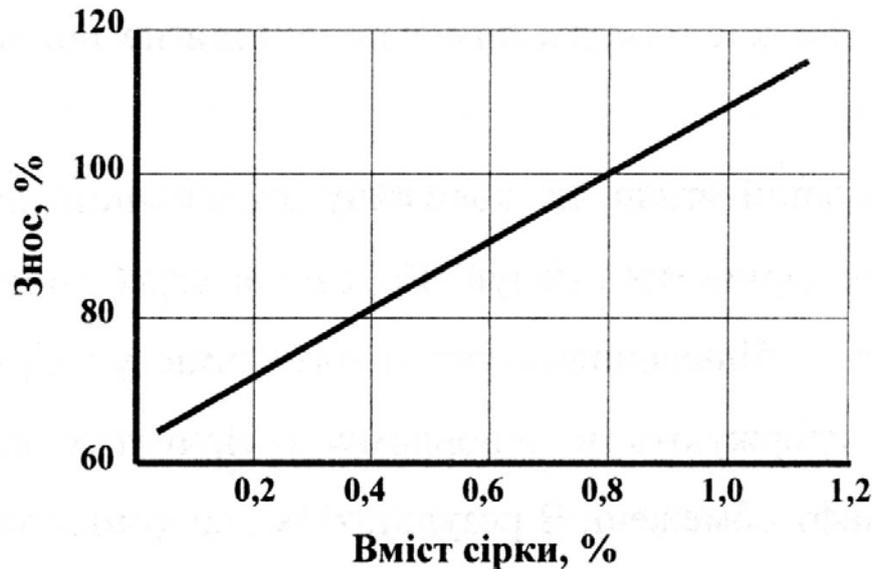


Рис.1.37. Вплив вмісту сірки в паливі на спрацювання поршневих кілець

#### 4.6. Асортимент палив для дизельних двигунів та область їх застосування

*Дизельне паливо* – це продукт перегонки нафти, гідроочищення та депарафінізації. Для збільшення обсягів виготовлення палива в нього можуть добавлять компоненти каталітичного крекінга.

Відповідно до ГОСТ 305–82 для швидкохідних дизельних двигунів випускають три марки дизельних палив залежно від сезонності або географічних областей використання: Л – літнє, для експлуатації двигунів при температурі навколишнього повітря  $+10^{\circ}\text{C}$  і вище; З – зимове, для експлуатації двигунів при температурі навколишнього повітря:  $-20^{\circ}\text{C}$  і вище (з температурою застигання  $-35^{\circ}\text{C}$ );  $-30^{\circ}\text{C}$  і вище (з температурою застигання  $-45^{\circ}\text{C}$ ); А – арктичне, для експлуатації при температурі навколишнього повітря  $-50^{\circ}\text{C}$  і вище (табл. 1.16).

Крім того, для кожної марки окремо обумовлена кліматична зона – помірна або холодна, а також види палива. За вмістом сірки дизельні палива поділяють на два види: І – масова частка сірки не більше 0,5% (для марки А – не більше 0,4%).

В умовне позначення палива марки Л входять масова частка сірки і температура спалаху, З – масова частка сірки і температура застигання, А – масова частка сірки. Наприклад позначення: паливо дизельне Л – 0,5-40 ГОСТ 305-82; паливо дизельне З-0,2 мінус 45 ГОСТ 305 – 82; паливо дизельне А – 0,2 ГОСТ 305 – 82.

Паливо Л використовують влітку в помірній і холодній кліматичних зонах за умови, що температура навколишнього повітря не знижується нижче 0<sup>0</sup>С.

Паливо З призначене для двох кліматичних зон: для помірної з температурою повітря не нижче мінус 20<sup>0</sup>С (температура застигання не вище мінус 35<sup>0</sup>С) і для холодної – з температурою повітря не нижче мінус 30<sup>0</sup>С (температура застигання не вище мінус 45<sup>0</sup>С).

Паливо А застосовують при температурі навколишнього середовища мінус 50<sup>0</sup>С і вище (температура застигання не вище мінус 55<sup>0</sup>С). Температура помутніння для нього не нормується, тому, що це паливо піддається глибокій депарафінізації.

Для використання в літній період (при температурі навколишнього повітря не нижче 5<sup>0</sup>С) виробляють паливо обваженого фракційного складу (ТУ 38 001355 – 85). На відміну від стандартного літнього палива у нього більш висока (на 20...30<sup>0</sup>С) температура кінця кипіння. При цьому до +360<sup>0</sup>С переганяється не менше 90% замість 96%. В наслідок цього його температура викіпання 50% на 10<sup>0</sup>С вище (табл. 1.17)

Таблиця 1.16

Основні показники дизельного палива для швидкохідних  
дизельних двигунів

| Показник   | Л         | З       | А       |
|--|-----------|---------|---------|
| Цетанове число (не менше)                                      | 45        | 45      | 45      |
| Фракційний склад, температура (не вище), °С:                   |           |         |         |
| - викіпання 50% палива   | 280       | 280     | 280     |
| - викіпання 96% палива   | 360       | 340     | 380     |
| Кінематична в'язкість при 20 °С, мм <sup>2</sup> /с            | 3...6     | 1,8...5 | 1,5...4 |
| Температура помутніння (не вище), °С,<br>для кліматичної зони: |           |         |         |
| - помірної   | -5        | -25     | -       |
| - холодної   | -         | -35     | -       |
| Температура застигання (не вище), °С,<br>для кліматичної зони: |           |         |         |
| - помірної   | -10       | -35     | -       |
| - холодної   | -         | -45     | -55     |
| Температура спалаху (не нижче), °С                             | 40        | 35      | 30      |
| Вміст сірки (не більше), %:                                    |           |         |         |
| - у паливі виду І  | 0,2       | 0,2     | 0,2     |
| - та у паливі виду ІІ  | 0,5       | 0,5     | 0,4     |
| Випробування на мідній пластині                                | Витримує  |         |         |
| Утримання фактичних смол<br>(не більше), мг/100см <sup>3</sup> | 40        | 30      | 30      |
| Кислотність (не більше),<br>мг КОН/100 см <sup>3</sup>         | 5         | 5       | 5       |
| Зольність (не більше), %                                       | 0,01      | 0,01    | 0,01    |
| Коксуємість 10% залишку<br>(не більше), %                      | 0,3       | 0,3     | 0,3     |
| Коефіцієнт фільтрує мості (не більше)                          | 3         | 3       | 3       |
| Вміст води та механічних домішок                               | Відсутній |         |         |
| Густина при 20 °С, кН/м <sup>3</sup> , не вище                 | 0,86      | 0,84    | 0,83    |

Таблиця 1.17

Характеристика дизельного палива обваженого фракційного складу (ОФС)

| Показник   | Норма     |
|--|-----------|
| Цетанове число, не менше                             | 45        |
| Фракційний склад:                                    |           |
| $t_{50\%}$ , °С, не вище                             | 290       |
| до 360 °С переганяється, % не менше                  | 90        |
| В'язкість кінематична при 20 °С, мм <sup>2</sup> /с  | 3,0...6,5 |
| Температура, °С, не вище:                            |           |
| застигання   | 0         |
| помутніння   | 5         |
| Температура спалаху в закритому тиглі, °С, не нижче: |           |
| для дизелів загального призначення                   | 40        |
| для тепловозних і суднових дизелів                   | 61        |
| Вміст сірки, %, не більше, у паливі:                 |           |
| виду I   | 0,2       |
| виду II  | 0,5       |
| Вміст меркаптанової сірки, %, не більше              | 0,01      |
| Випробування на мідній пластинці                     | Витримує  |
| Кислотність, г КОН/100 см <sup>3</sup> , не більше   | 5         |
| Йодне число, г J <sub>2</sub> /100 г, не вище        | 6         |
| Зольність, % не більше                               | 0,01      |
| Коксівність 10% залишку, %, не більше                | 0,3       |
| Коефіцієнт фільтрівності, не більше                  | 3         |
| Густина при 20 °С, кН/м <sup>3</sup> , не вище       | 0,86      |

Паливо не повинно містити сірководень, водорозчинні кислоти і луги, механічні домішки, воду. За фракційним складом і основними фізико-технічними показниками це паливо наближається до палив, які виробляються за кордоном.

Результати експлуатаційних випробувань роботи двигунів на паливі ОФС показали, що на 2...4% збільшується питома витрата і на 4...5% годинна витрата палива, що потребує перерегу-

---

---

лювання паливної апаратури. Крім того, в цих двигунах більш інтенсивно спрацьовуються присадки моторного масла.

*Дизельне паливо експортне* (ТУ 38001162–85) виготовляють для поставок на експорт з вмістом сірки до 0,02%, для чого дизельні фракції прямої перегонки піддають гідроочищенню. Для оцінки його якості, за вимогою споживачів, визначають дизельний індекс, а не цетанове число. Крім того, замість визначення вмісту води і коефіцієнта фільтрівності експрес-методом визначають прозорість палива при температурі 10<sup>0</sup>С. Промисловість випускає дизельне паливо експортне марок ДЛЕ і ДЗЕ.

Для середньо – і тихохідних дизельних двигунів, з частотою обертання колінчастих валів до 1000 хв<sup>-1</sup> (ГОСТ 1617–68) виробляють паливо марок ДТ і ДТ\* та ДМ\* вищої якості. Вони відрізняються в'язкістю, коксованістю і температурою застигання. Паливо цих марок – суміш дистиляторів з залишковими продуктами (мазут) прямої перегонки або крекінгу. Двигуни, в яких використовують таке паливо, експлуатують в основному на стаціонарних і напівстаціонарних установках. Коротка характеристика палива наведена в таблиці 1.18.

Паливо ДТ призначено для дизелів необладнаних системою підготовки палива, а паливо ДМ (мазут) – для судових тихохідних дизелів, обладнаних системою попередньої підготовки палива (нагрівання до температури 60...70<sup>0</sup>С, відстоювання фільтрування).

*Газові конденсати* (рідкі вуглеводні, що конденсуються при нормальних умовах із природним газом, які знаходяться в підземних шарах під тиском 4,9...9,8 МПа і температурі до 150<sup>0</sup>С), розглядаються як додаткове джерело сировини для одержання палив для автотракторних двигунів.

Аналіз газових конденсатних родовищ, що розглядаються, які в основному складаються з нафтових і парафінових вуглеводнів, дозволяє розділити їх за складом на дві групи (рис. 1.38): важкі газові конденсати відносно вузького і легкі більш широкого фракційного складу.

## Палива для дизельних двигунів

Конденсати першої групи за основними властивостями незначно відрізняються від стандартних арктичних і зимових дизельних палив, а конденсати другої групи мають менші значення густини, в'язкості, температур спалаху і застигання, ніж стандартні дизельні палива.

З 1 січня 1981 р. введено в дію ТУ 51-28-81 “Паливо газоконденсатне широкофракційне для швидкохідних дизелів”, яке поширюється на паливо газоконденсатне (ГКП) широкофракційне зимове північне, одержане прямою перегонкою газового конденсату Уренгойського родовища, а також компонуванням фракції газового конденсату з товарним дизельним паливом. ГКП токсично і вибухонебезпечно, що потребує дотримання встановлених вимог безпеки.

*Таблиця 1.18*

Коротка характеристика палив для середньо- і тихохідних  
дизельних двигунів

| Показник  | ДТ*   | ДТ          | ДМ*   |
|---|-------|-------------|-------|
| Густина при 20 °С, кН/м <sup>3</sup> , не більше    | 0,930 | 0,930       | 0,970 |
| Фракційний склад: до 250 °С перегонки, %, не більше | 15    | 15          | 10    |
| В'язкість при 50 °С:                                |       |             |       |
| кінематична, мм <sup>2</sup> /с, не більше          | 20    | 36          | 130   |
| умовна, °ВУ, не більше                              | 2,95  | 5           | 17,4  |
| Зольність, %, не більше                             | 0,02  | 0,04        | 0,06  |
| Масова частка сірки, %, не більше:                  |       |             |       |
| у мало сірчистому паливі                            | 0,5   | 0,5         | -     |
| у сірчистому паливі                                 | 1,5   | 1,5         | 2,0   |
| Вміст водорозчинних кислот і лугів                  |       | Відсутність |       |
| Масова частка сірки, %, не більше:                  |       |             |       |
| механічних домішок                                  | 0,05  | 0,05        | 0,1   |
| води  | 0,1   | 0,5         | 0,5   |
| Температура спалаху в закритому тиглі, °С, не нижче | 70    | 65          | 85    |
| Температура застигання, °С, не вище                 | -5    | -5          | 10    |

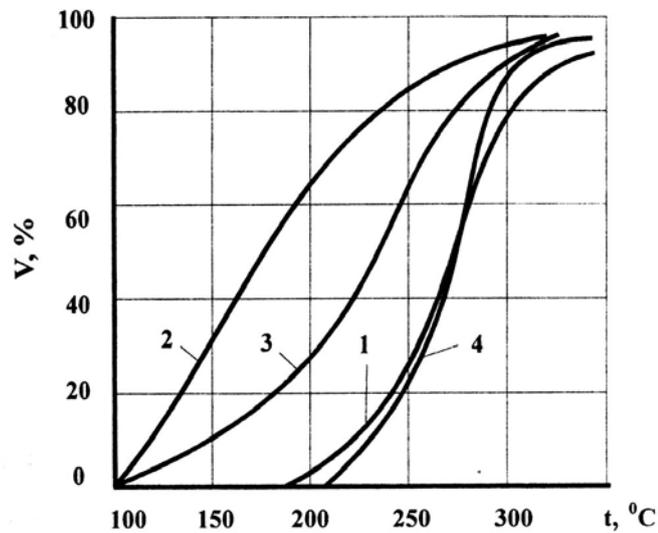


Рис.1.38. Фракційний склад дизельного палива і газових конденсатів:  
 1 – дизельне паливо; 2 – газовий конденсат Соленинського родовища;  
 3 – суміш 50% дизельного палива і 50% газового конденсату Соленинського родовища; 4 – газовий конденсат родовища “Ведмеже”

Широке використання дизелів в усіх галузях народного господарства призводить до необхідності збільшення виробництва дизельного палива. При існуючій технології нафтопереробки його вихід становить близько 20...25%, тому можливим шляхом задоволення зростаючих потреб у дизельному паливі є перехід на паливо з широким фракційним складом (ШФС). Одержують таке паливо методом прямої перегонки нафти. Споживачами цього палива повинні стати дизелі всіх розмірів і будь – якої швидкохідності. Це значно спростить весь комплекс переробки нафти і використання палива (одержання, транспортування, зберігання тощо).

#### 4.7. Закордонні класифікації дизельних палив

У США і деяких інших країнах технічними умовами, що діють в державному масштабі, встановлюються лише загальні вимоги до найбільш важливих показників дизельних палив, а конкретні вимоги до них, за всіма фізико-хімічними показниками, передбачаються специфікаціями фірм. Так державна специфіка-

## Палива для дизельних двигунів

ція ASTM (США) на дизельні палива встановлює граничні значення основних показників для палив трьох марок (табл. 1.19), що застосовують у дизельних двигунах різних типів.

*Таблиця 1.19*

### Специфікація ASTM на дизельні палива США

| Показник   | 1-D      | 2-D  | 4-D  |
|--|----------|------|------|
| Цетанове число не нижче                              | 40       | 40   | 30   |
| Фракційний склад: 10% перегонка при температурі, °С: |          |      |      |
| не нижче   | -        | 282  | -    |
| не вище  | 287      | 338  | -    |
| В'язкість при 37,8 °С, мм <sup>2</sup> /с:           |          |      |      |
| не нижче   | 1,4      | 2,0  | 5,8  |
| не вище  | 2,5      | 4,3  | 26,4 |
| Коксівність 10%-го залишку, %, не більше             | 0,15     | 0,35 | -    |
| Зольність, %, не більше                              | 0,01     | 0,01 | 0,1  |
| Температура спалаху в закритому тиглі, °С, не нижче  | 37,8     | 51,7 | 54,4 |
| Вміст, %, не більше:                                 |          |      |      |
| сірки  | 0,5      | 0,5  | 2,0  |
| води і механічних домішок                            | Сліди    | 0,1  | 0,5  |
| Випробування на мідній пластинці                     | Витримує |      |      |

Паливо 1-Д являє собою гасо-газойлеві нафтові фракції і призначено для швидкохідних дизельних двигунів, які працюють з частотою зміною навантаження і швидкості в широких межах, а також для двигунів, які експлуатуються при низьких температурах.

Паливо 2-Д - в'язке дистилатне паливо або суміш дистилатних і залишкових палив – призначених для тихохідних стаціонарних двигунів, а також середньохідних двигунів, які працюють тривалий час під навантаженням, в основному при постійній частоті обертання і швидкохідності.

Паливо 4-Д - в'язке дистилатне паливо або суміш дистилаторних і залишкових палив, призначених для тихохідних

стаціонарних двигунів, а також середньохідних, які працюють тривалий час під навантаженням в основному при постійній частоті обертання і швидкохідності.

Специфікацією ASTM на дизельне паливо не регламентується температура застигання, але вона повинна бути на  $5,6^{\circ}\text{C}$  нижче температури навколишнього повітря, за винятком тих палив, коли передбачено підігрів палива. Специфікацією допускається порівняно високий вміст сірки в дизельному паливі – від 0,5% для палива 1–Д до 2,0% - для палива 4-Д.

Товариство автомобільних інженерів США (SAE) розробило свою специфікацію дизельних палив, яка передбачає випуск чотирьох сортів палива для дизельних двигунів усіх видів (табл. 1.20).

Таблиця 1.20

## Специфікація SAE на дизельні палива

| Показник  | Сорт              |                   |                   |            |
|---|-------------------|-------------------|-------------------|------------|
|   | 1                 | 2                 | 3                 | 4          |
| Густина при $20^{\circ}\text{C}$ , $\text{кН/м}^3$                      | 0,802...<br>0,825 | 0,825...<br>0,844 | 0,844...<br>0,876 | -          |
| Цетанове число, не нижче  | 50                | 45                | 40                | 30         |
| Фракційний склад:<br>90% перегонка до температури, $^{\circ}\text{C}$ : |                   |                   |                   |            |
| не нижче  | -                 | 282               | 282               | -          |
| не вище   | 288               | 316               | 334               | -          |
| В'язкість при $37,8^{\circ}\text{C}$ , $\text{мм}^2/\text{с}$           | 1,2...2,5         | 1,8...3,5         | 2,0...4,3         | 5,8...26,4 |
| Температура, $^{\circ}\text{C}$ :                                       |                   |                   |                   |            |
| спалаху, не нижче   | 49                | 49                | 49                | 49         |
| помутніння, не вище   | -29               | -26               | -18               | -          |
| застигання, не вище   | -                 | -                 | -32               | -          |
| Вміст сірки, %, не більше   | 0,2               | 0,5               | 0,7               | 2,0        |
| Випробування на мідній пластинці, бали                                  | 2                 | 2                 | 2                 | 2          |

Паливо 1-го сорту – легке дизельне паливо прямої перегонки найбільш високої якості, має схильність до димлення, високу стабільність, низьку корозійну активність і добрі низькотемпературні властивості. В основному це паливо відповідає паливу марки 1–Д за специфікацією ASTM.

Паливо 2-го сорту – дизельне паливо вищої якості, призначення для найпоширеніших умов роботи двигунів. Воно поступається дизельному паливу 1-го сорту за низькотемпературними властивостями.

Паливо 3-го сорту – дизельне паливо високої якості, але має схильність до димлення, меншу стабільність, гірші корозійні і низькотемпературні властивості. Воно дешевше і призначене для двигунів, які працюють постійно прогрітими (міжміські вантажні автомобілі, локомотиви тощо). Відповідає паливу 2–Д за класифікацією ASTM.

Паливо 4-го сорту – найбільш дешевше і низької якості, рекомендується для тихохідних стаціонарних і судових двигунів. Воно відповідає паливу 4–Д за специфікацією ASTM.

Крім специфікацій ASTM, SAE в США існують специфікації на дизельне паливо, які враховують особливості роботи дизельних двигунів. Так в США, передбачена специфікація на дизельне паливо для автобусів, причому окремо для міських і міжміських; двигунів специфікації залізничних доріг; двигунів специфікації гірського бюро, військового відомства, НАТО та ін.

В Англії, як і у США, крім державної специфікації BS, яка передбачає поділ дизельних палив на класи залежно від їх в'язкості (табл. 1.21), випускаються палива за специфікаціями фірм “Shell”, “British Petroleum” та ін.

Дизельні палива класів А і В – дистильатні продукти, призначені для швидкохідних двигунів. Палива класів Е, F, G, Н – залишкові продукти, призначені для стаціонарних і судових силових установок. Паливо D – пічне, використовується для автоматичних силових установок.

Таблиця. 1.21

## Англійська специфікація BS на дизельні палива

| Показник  | A    | B    | D    | E    | F    | G     | H    |
|---|------|------|------|------|------|-------|------|
| Густина при 20 °С, кН/м <sup>3</sup> не вище                  | -    | -    | -    | -    | -    | 0,985 | -    |
| Цетанове число, не нижче                                      | 45   | -    | -    | -    | -    | -     | -    |
| Фракційний склад: перегонка до температури 357 °С, % не менше | 90   | -    | -    | -    | -    | -     | -    |
| В'язкість при 37,8 °С, мм <sup>2</sup> /с, не більше          | 7,8  | 14,2 | 7,8  | 81   | 250  | 750   | 1750 |
| Коксівність, %, не більше механічних домішок                  | 0,1  | 0,5  | 0,2  | -    | -    | 13,5  | -    |
| Зольність, %, не більше                                       | 0,01 | 0,02 | 0,01 | -    | -    | 0,2   | -    |
| Температура спалаху, °С, не нижче                             | 54,4 | 65,6 | -    | -    | -    | -     | -    |
| Вміст, %, не більше   |      |      |      |      |      |       |      |
| сірки   | 1,3  | 1,8  | 2,0  | -    | -    | 3,5   | -    |
| води  | 0,1  | 0,25 | 0,25 | 0,5  | 1,0  | 1,0   | 1,5  |
| механічних домішок  | 0,01 | 0,05 | 0,05 | 0,15 | 0,25 | 0,25  | 0,25 |
| Випробування на мідній пластинці (50°С, 3 год), бали          | 1    | -    | -    | -    | -    | -     | -    |

## 5. ГАЗОПОДІБНЕ ПАЛИВО

- 5.1. Загальні відомості. Класифікація*
- 5.2. Характеристика і асортимент газоподібного палива*
- 5.3. Застосування газоподібного палива у ДВЗ*
- 5.4. Суть процесу газифікації. Використання генераторного газу*
- 5.5. Особливості одержання і використання біогазу*
- 5.6. Особливості застосування газоподібного палива в сільському господарстві*
- 5.7. Закордонні класифікації газоподібних палив*

### 5.1. Загальні відомості. Класифікація

В сільськогосподарському виробництві газоподібне паливо використовується для різних технологічних (опалення теплиць, парників, тваринницьких і птахівницьких комплексів, виробничих приміщень, в сушилках тощо) і побутових цілей, а також в двигунах внутрішнього згорання.

Газоподібне паливо – це суміш різних газів (горючих і не горючих). Основними горючими компонентами є водень (H), окис вуглецю (CO), метан (CH<sub>4</sub>), та газоподібні вуглеводні: етан (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>), бутан (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>), іноді сірководні (C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>). Негорючі компоненти – вуглекислий газ (CO<sub>2</sub>), азот (N<sub>2</sub>), кисень (O<sub>2</sub>).

У паливному балансі України газоподібне паливо з кожним роком займає все вагомніше місце. Великі перспективи використання газу у сільському господарстві як для технологічних,

---

---

так і побутових потреб. Газоподібне паливо в останні роки все ширше використовують у двигунах внутрішнього згоряння (ДВЗ).

Газоподібне паливо порівняно з іншими видами палив має такі переваги:

- згорає майже із теоретичною кількістю повітря, що забезпечує високий коефіцієнт корисної дії (ККД) і більшу температуру згоряння;

- дешеве і після вугілля найпоширеніше, з великими природними запасами;

- при згорянні не утворює небажаних продуктів сухої кіптяви, диму і сірчастих сполук, а також виділення значно меншої кількості продуктів, які забруднюють навколишнє середовище;

- легко запалюється при будь-якій температурі навколишнього середовища;

- порівняно просто підводиться від газопроводів до об'єктів споживання і дає можливість централізованого зберігання

- дешевше інших видів палива;

- може бути використане в стиснутому і зрідженому стані, в особливості у двигунах внутрішнього згоряння;

- володіє високим протидетонаційними властивостями, а при згорянні не утворює конденсату, що забезпечує менший знос деталей двигуна;

- для зберігання газу не потрібні спеціальні складські приміщення, оскільки його транспортують газовими магістралями та в балонах.

Газоподібне паливо має й негативні властивості:

- утворює вибухові суміші з повітрям (природний газ, метан, водень);

- легко витікає через нещільності.

Крім того газу, до складу яких входить окис вуглецю (генераторний, змішаний, світільний, водяний, коксовий) дуже отруйні, тому при роботі з ними необхідно суворо дотримуватися правил технічної, особистої і протипожежної безпеки.

Газоподібне паливо, як і інші палива, поділяють на природне, яке використовується в тому вигляді, в якому воно знаходиться в надрах землі (природний газ газових родовищ і супутній) і штучне – гази, які одержують як побічний продукт при переробці нафти і твердого палива або спеціально за допомогою газогенераторів (доменний, коксовий, генераторний).

Залежно від фізичних властивостей гази можуть бути зріджені і стиснуті. Зріджені – це гази з відносно *високою критичною температурою*, при підвищенні тиску до 1,0...1,5 МПа переходять у рідкий стан. Це в основному пропан-бутанові вуглеводні.

*Критична температура* – найбільша температура, при якій можливе існування рідини в стані рівноваги з паром. Зрідження газу можливе тільки при його охолодженні нижче температури критичної.

*Стиснуті* – це гази з низькою критичною температурою, які залишаються в газоподібному стані при нормальній температурі навіть при дуже високому тиску (до 20 МПа). До них належать метан, окис вуглецю, водень, етилен.

Залежно від теплоти згоряння газоподібне паливо поділяють на три групи:

- низькокалорійні, з теплотою згоряння до 10000 кДж/м<sup>3</sup>, до яких відносять доменний, генераторний та інші гази.
- висококалорійні, з теплотою згоряння понад 23030 кДж/м<sup>3</sup>, до яких відносять природні гази, які отримують із свердловин разом з нафтою та при її переробці;
- середньокалорійні з теплотою згоряння 10000... 23030 кДж/м<sup>3</sup>, до яких відносять коксовий, світільний та інші гази;

Горючі гази можуть бути поділені на дві групи:

- гази з низькою критичною температурою, які не переходять в рідкий стан при нормальній температурі під дією високого тиску;
- гази з відносно високою критичною температурою, які не переходять в рідкий стан навіть під дією високого тиску.

В ДВЗ використовують стиснений, зріджений і генера-

торні газу. В сільськогосподарському виробництві для технологічних і побутових цілей найбільш широко використовують природний газ.

## 5.2. Характеристика і асортимент газоподібного палива

З усіх видів газоподібного палива найпоширеніші природні газу, які поділяють на дві групи: газу газових родовищ і супутні, які добуваються разом з нафтою.

*Природні газу чисто газових середовищ* за складом і тепловою цінністю відрізняються між собою незначно (табл. 1.22). Головною їх складовою є метан –  $\text{CH}_4$ .

Таблиця 1.22

Склад природних газів газових родовищ, % за об'ємом

| Родовище       | Компоненти, % за об'ємом |                        |                        |                           |                           |               |                      | $Q_H$ , |
|----------------|--------------------------|------------------------|------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------|----------------------|---------|
|                | $\text{CH}_4$            | $\text{C}_2\text{H}_6$ | $\text{C}_3\text{H}_8$ | $\text{C}_4\text{H}_{10}$ | $\text{C}_5\text{H}_{12}$ | $\text{CO}_2$ | $\text{H}_2\text{S}$ | МДж/кг  |
| Урицьке        | 91,2                     | 2,8                    | 0,9                    | 0,6                       | 0,7                       | 0,5           | 3,3                  | 37,1    |
| Елшанське      | 93,4                     | 2,1                    | 0,8                    | 0,4                       | 0,3                       | 0,3           | 2,7                  | 36,5    |
| Газлінське     | 93,0                     | 3,1                    | 0,7                    | 0,6                       | -                         | 0,1           | 2,5                  | 36,8    |
| Щебелинське    | 93,3                     | 4,0                    | 0,6                    | 0,4                       | 0,3                       | 0,1           | 1,3                  | 37,8    |
| Ставропольське | 98,7                     | 0,3                    | 0,1                    | 0,1                       | Сліди                     | 0,1           | 0,7                  | 35,8    |
| Дашавське      | 98,3                     | 0,3                    | 0,1                    | 0,2                       | -                         | 0,1           | 1,0                  | 35,8    |
| Березовське    | 95,1                     | 1,1                    | 0,3                    | -                         | -                         | 0,4           | 3,0                  | 35,3    |

Для природного газу, який надходить по трубопроводу, нормується тільки вміст шкідливих домішок: сірководню, аміаку, смол, пилу, вологу тощо. За сортами і марками їх не поділяють. Природний газ має низьку критичну температуру ( $-161^\circ\text{C}$  при атмосферному тиску і  $-82^\circ\text{C}$  при тиску 4,6 МПа). Тому навіть при високому тиску він знаходиться в газоподібному стані.

## Газоподібне паливо

дібному стані і його називають стиснутим. До таких газів відносять і деякі штучні. Характеристика стиснутих газів, що поставляються споживачам, наведена в таблиці 1.23.

*Таблиця 1.23*

Характеристика стиснутих газів

| Показник   | Тип газу      |                                |                        |
|--|---------------|--------------------------------|------------------------|
|  | Природний     | Коксовий<br>мета-<br>лізований | Коксовий<br>збагачений |
| Теплота згоряння, кДж/м <sup>3</sup> , не менше                                | 29000         | 27000                          | 22000                  |
| Вміст компонентів, %:<br>- метану<br>- водню                                   | 80...97<br>-  | Більше 65<br>-                 | 50<br>Менше12          |
| Вміст домішок, г/м <sup>3</sup> , не більше:<br>- сірководню<br>- смоли і пилу | 0,02<br>0,001 | 0,02<br>0,001                  | 0,02<br>0,001          |
| Пари води в газі, що знаходиться в балоні:<br>- влітку<br>- взимку             | 7,0<br>0,5    | 7,0<br>0,5                     | 7,0<br>0,5             |

*Супутній нафтопромисловий газ*, крім метану містить більш важкі газоподібні вуглеводні, кількість яких залежить від складу нафти того чи іншого родовища. В багатьох випадках газовий фактор (кількість газу м<sup>3</sup> на одну тону нафти) дуже високий (50...100 м<sup>3</sup>). Вуглеводні з числом атомів вуглецю 1...4, що входять у склад нафти, при нормальних умовах, перебувають у газоподібному стані, їх уловлюють при добуванні нафти. Теплота згоряння супутнього нафтопромислового газу вище, ніж газів газових родовищ, але його використовують головним чином як сировину для хімічної і нафтохімічної промисловості.

*Зріджений газ* широко використовують для газозабезпечення сільської місцевості і районів, що не підключені до газової мережі, а також як паливо в котельно-побутових і невеликих теплоустановках (у теплицях, на тваринницьких комплексах тощо). *Зріджений газ* – це газоподібні вуглеводні які легко конденсуються при стисканні.

Основним компонентом зрідженого газу є *пропан* – важкий газ (густина по відношенню до повітря 1,52). Він створює оптимальну величину тиску насиченої пари, що особливо важливо для зниження маси газових балонів транспортних установок.

*Етан* – газ, що за густиною близький до повітря. Одержують його з супутніх нафтових газів, входить до складу зріджених газів у незначній кількості, але підвищує загальний тиск насиченої пари і тим самим забезпечує в зимовий період надлишковий тиск, який необхідний для нормальної роботи газобалонних установок.

*Бутан* має два ізомери (густина за повітрям в межах 2,06...2,09). Його одержують з тих же нафтопромислових газів, що і пропан. Він являється найбільш висококалорійним компонентом зріджених газів. При температурі – 0,5 °С і нормальному атмосферному тиску бутан переходить у рідкий стан, що не дозволяє його використовувати в зимовий період для комунально-побутових потреб.

*Пентан* – важкий газ (густина за повітрям 2,67). У більшості випадків знаходиться в рідкому залишку і при  $t = 20$  °С не повинен перевищувати 1,0...2,0% об'єму зрідженого газу, тому, що він різко знижує пружність парів і підвищує точку роси.

Зрідженні гази відповідно до ГОСТ 20448-80 (табл. 1.24) випускає промисловість таких марок СПБТЗ – суміш пропану і бутану технічна зимова; СПБТЛ – суміш пропану і бутану технічна літня; БТ – бутан технічний.

## Газоподібне паливо

Таблиця 1.24

Характеристика зріджених газів

| Показник  | Марка газу         |                    |                    |
|---|--------------------|--------------------|--------------------|
|   | СПБТЗ              | СПБТЛ              | БТ                 |
| Масова частка компонентів, %<br>сума:   |                    |                    |                    |
| а) метану, етану, етилену,<br>не більше   | 4                  | 6                  | 6                  |
| б) пропану, пропилену, не<br>менше  | 75                 | не нор-<br>мується | не нор-<br>мується |
| в) бутану і бутиленів:  |                    |                    |                    |
| - не менше  | не нор-<br>мується | -                  | 60                 |
| - не більше   |                    | 60                 | -                  |
| Рідкий залишок (у тому числі<br>вуглеводні C <sub>5</sub> і вище) при 20 °С,<br>% за об'ємом, не більше | 1                  | 2                  | 2                  |
| Надлишковий тиск насиченої<br>пари, МПа:  |                    |                    |                    |
| - при 45 °С, не більше  | 1,6                | 1,6                | 1,6                |
| - при 20 °С, не менше   | 0,16               | -                  | -                  |
| Масова частка сірководню і<br>меркаптанової сірки, %, не<br>більше:                                     |                    |                    |                    |
| у тому числі сірководню   | 0,015              | 0,015              | 0,015              |
|   | 0,003              | 0,003              | 0,003              |
| Вміст вільної води і лугів  | Відсутність        |                    |                    |

Поділ зріджених газів на зимові і літні прийнято у зв'язку із зменшенням пружності пари зріджених газів при низьких температурах. Тому для підтримки необхідного тиску в системах газозабезпечення в складі зимової газової суміші повинно бути більше пропану. Зріджений газ надходить до споживачів у цистернах або тонкостінних балонах під тиском 1,6 МПа.

*Штучне газоподібне паливо* можна одержати шляхом газифікації твердого палива або його сухою перегонкою. За

допомогою газифікації і сухої перегонки твердих палив одержують: генераторний газ, змішаний, водяний, напівкоксівий, коксовий, світильний та інші гази.

### **5.3. Застосування газоподібного палива у ДВЗ**

Газ у вигляді палива використовують головним чином для автомобільних двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) у стиснутому або розрідженому виді. Для газобалонних автомобілів використовують тільки високо – і середньо калорійні гази в стиснутому або рідкому стані, оскільки тільки вони забезпечують досягнення необхідних техніко-економічних показників автомобіля.

Використання газоподібного палива для ДВЗ має переваги в порівнянні з рідкими паливами:

- зменшується токсичність відпрацьованих газів, що при сучасній концентрації автомобілів суттєво оздоровлює навколишнє середовище;
- збільшується в середньому на 35...45% моторесурс двигуна і в 2...3 рази строк роботи моторного масла, оскільки газоповітряна суміш не змиває масляної плівки із дзеркал циліндрів;
- висока детонаційна стійкість газоподібного палива дозволяє підвищити ступінь стиску двигуна та відповідно його потужність до 15% і паливну економічність до 12%;
- поліпшуються розподіл паливної суміші між циліндрами двигуна і сумішоутворення, що також впливає на підвищення потужності двигуна.

Зауважимо також легкість перебудови карбюраторного двигуна для роботи на газі.

Проте ці переваги не завжди повністю реалізуються внаслідок зменшення наповнення циліндрів, оскільки для роботи на газ переводять карбюраторні двигуни, рідше дизелі, а не використовують спеціальні газові двигуни. Крім того переведення двигунів для роботи на газоподібному паливі пов'язано з рядом факторів:

- ціна автомобіля зростає із-за наявності додаткової газової апаратури;

- металоємність газобалонних автомобілів збільшується на 65...160 кг, а при використанні стиснутого газу – на 400...950 кг, залежно від кількості і маси балонів високого тиску, що призводить до зниження вантажопідйомності на 14...18%;

- трудомісткість технічного обслуговування і ремонту газобалонних автомобілів при використанні зрідженого газу збільшується на 3...5%, а при використанні стиснутого – на 12...15%;

- при використанні стиснутого газу пробіг автомобіля на одній заправці скорочується на 40...45%.

*Стиснуті гази* для газобалонних автомобілів стандартизовані зі наступними видами: природний, коксовий, збагачений. В таблиці 1.23 наведені основні показники цих газів.

Головним паливим компонентом газів є метан  $\text{CH}_4$ . У природному газі вміст метану складає 90...98%, у коксовому металізованому – не менше 65%, у коксовому збагаченому – не менше 50%.

У газоподібному паливі, як і у рідкому, небажано присутності сірководню  $\text{H}_2\text{S}$ , який викликає корозійний знос газової апаратури та деталей двигуна. Дуже негативно впливає присутність в газі сполучення  $\text{CN}$ , яке у з'єднанні з водою утворює синильну кислоту, у результаті чого на стінках балонів виникають малі міжкристалічні щілини, які приводять до їх руйнування. Як і для рідкого палива, небажано присутності у газі смолянистих сполук, механічних домішок, вологи. В загальні на автомобілі ставлять циліндричні балони, розраховані на робочий тиск 20 МПа. У одному такому балоні об'ємом 50л (по воді) утримується  $10 \text{ м}^3$  газу при нормальних умовах.

Переведення стандартних карбюраторних двигунів на газоподібне паливо супроводжується деяким зниженням їх потужності. Це відображають швидкісні характеристики двигунів автомобілів ГАЗ–53А та ЗІЛ–130, показані на рисунку 1.39.

Зменшення потужності пов'язано зі зменшенням температури згоряння газоповітряної суміші у порівнянні з бензиною, а також із зниженням коефіцієнту наповнення горючої суміші циліндрів двигуна. Однак збільшення ступеня стиску газових

двигунів практично вирівнює експлуатаційні властивості автомобілів, працюючих на бензині та газі.

*Зріджений природний газ.* Основними компонентами цього виду палива є метан (90...97%) і азот (3...4%). Його застосування як моторного палива дає можливість використати великий енергетичний потенціал газових родовищ. Разом з тим зрідження метану, який має температуру кипіння нижче  $-160^{\circ}\text{C}$ , пов'язане з відповідними труднощами. Крім того для його зберігання і транспортування необхідна спеціальна термостатична тара з вакуумом або іншою надійною термоізоляцією. При заправці рідким метаном може виникнути забруднення навколишнього середовища: при зрідженні різко збільшується його вартість; втрати метану від випаровування, навіть в умовах вакуумної ізоляції складають 7,0...8,0% на добу, причому це не тільки втрати палива, але і різке збільшення ризику пожежі і вибуху. В той же час об'єм рідкого метану в 3 рази менший, ніж об'єм стиснутого при 20 МПа газу, а маса термостатичних балонів у 8 разів менша маси балонів стиснутого газу. Номінальний тиск в криогенному балоні, залежно від конструкції, становить 0,07...0,7 МПа.

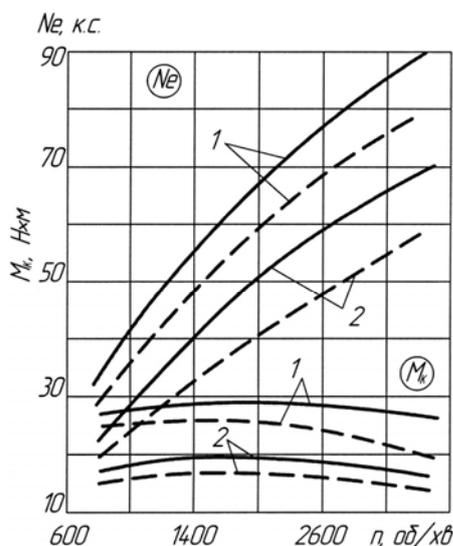


Рис. 1.39. Зміна потужності  $N_e$  та крутного моменту  $M_k$  двигунів автомобілів ЗИЛ-130 (криві 1) та ГАЗ-53А (криві 2) в залежності від числа обертів колінчастого валу двигуна при роботі на бензині (суцільні лінії) та на стиснутому газі (штрихові лінії)

## Газоподібне паливо

Фізико-хімічні властивості зрідженого природного газу приведена в таблиці 1.25.

Таблиця 1.25

Фізико-хімічні властивості зрідженого природного газу

| Показники  | Значення показників |
|--|---------------------|
| Густина при температурі 0 °С, і тиску 0,1013 МПа, Н/м <sup>3</sup> | 7,00                |
| Температура, °С  |                     |
| - кипіння  | - 161,74            |
| - затвердіння  | - 182,5             |
| Критичний тиск, МПа  | 4,73                |
| Критична температура, °С   | - 82,61             |
| Відносна густина за повітрям                                       | 0,554               |
| Молярна маса, кг/моль  | 16,043              |

*Зріджене газоподібне паливо* – це пропан-бутанові суміші газів, які мають теплоту згоряння біля 46,0 мДж/м<sup>3</sup>. Зріджені газу можна транспортувати в звичайних і автомобільних цистернах. Для заправки ними автомобілів використовують прості і дешеві газонаповнювальні і пересувні установки.

Зріджений пропан-бутановий газ має максимальний тиск 1,6 МПа, для його зберігання і транспортування на борту автомобіля використовують балони місткістю до 250 дм<sup>3</sup>. Балони заповнюють зрідженим газом не більше 90% об'єму (враховується можливе теплове розширення газу). Решту (10%) займає газоподібна фаза, яка використовується для пуску холодного двигуна.

Відповідно до ГОСТ 27578-87 “Газу вуглеводні зріджені для автомобільного транспорту” зріджені газу випускають двох марок: ПА – пропан автомобільний, рекомендується використовувати при температурі до мінус 20...35 °С; ПБА – пропан-бутан автомобільний, рекомендується використовувати при температурі до мінус 20 °С. Фізико-хімічні показники цих газів приведені в таблиці 1.26.

Таблиця 1.26

## Фізико-хімічні показники зріджених газів

| Показники                                 | Марка | ПА            | ПБА   |
|---|-------|---------------|-------|
| Масова частка компонентів, %:             |       |               |       |
| - метан і етан                            |       | Не нормуються |       |
| - пропан                                  |       | 90±10         | 50±10 |
| - вуглеводні C <sub>5</sub> (і вище)      |       | Не нормується |       |
| - не насичені вуглеводні, не більше       |       | 6             |       |
| Об'ємна частка рідкого залишку при 40 °С  |       | Відсутність   |       |
| Надлишковий тиск насиченої пари, МПа:     |       |               |       |
| - при 45 °С, не більше                    |       | 1,6           |       |
| - при мінус 35 °С, не менше               |       | 0,07          | -     |
| - при мінус 20 °С, не менше               |       | -             | 0,07  |
| Масова частка сірки і сірчистих сполук, % |       |               |       |
| - не більше                               |       | 0,01          |       |
| - у тому числі сірководню, не більше      |       | 0,003         |       |
| Вміст вільної води і лугів                |       | Відсутність   |       |

#### 5.4. Суть процесу газифікації. Використання генераторного газу

*Газифікація* – високотемпературний процес взаємодії вуглецю палива з окислювачами, який проводиться з метою одержання горючих газів Н<sub>2</sub>, СО, СН<sub>4</sub>. Окислювачами, які іноді називають газифікуючими агентами, можуть бути кисень (або збагачене ним повітря), водяні пари, діоксид вуглецю або суміш указаних речовин. Залежно від співвідношення вихідних реагентів, температури, тривалості реакцій та інших факторів можна одержати газові суміші самого різного складу.

Газифікація відбувається в газогенераторах, шляхом пропускання повітря через розжарений шар твердого палива, яке знаходиться в газогенераторі. Розрізняють три процеси газифікації: прямий, обернений і горизонтальний. Схематично весь

шар палива в газогенераторах може бути розділений на чотири зони: горіння, відновлення, сухої перегонки та підсушки (рис. 1.40).

У зоні горіння кисень повітря вступає в реакцію з вуглецем та воднем палива, внаслідок їх окислення утворюються  $\text{CO}_2$  та  $\text{H}_2\text{O}$ , а часто і  $\text{CO}$ . Температура в зоні горіння підвищується при цьому до  $1200\text{...}1500^\circ\text{C}$ . Продукти горіння, піднімаючись через зону відновлення (газифікації) і стискаючись з розжареним вуглецем, відновлюються до оксиду вуглецю та водню, при цьому температура знижується до  $900\text{...}1100^\circ\text{C}$ . Якщо температура знизиться нижче  $900^\circ\text{C}$ , процес газифікації палива припиниться. В зоні відновлення відбувається також розкладання водяної пари, що міститься у паливі.

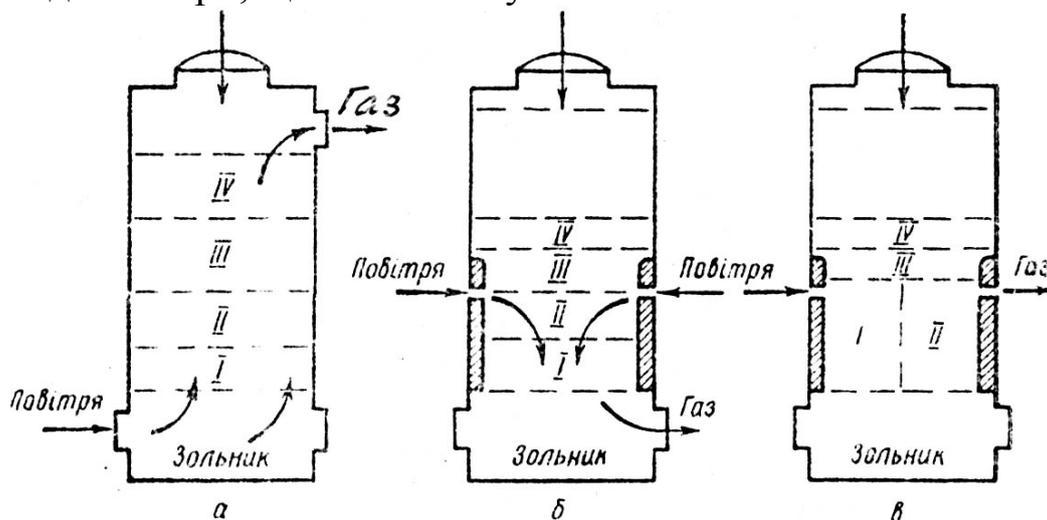


Рис. 1.40. Газогенератори з різними процесами газифікації палива:  
 а – з прямим; б – з оберненим; в – з горизонтальним; I – зона горіння;  
 II – зона відновлення; III – зона сухої перегонки; IV – зона підсушки

У зоні сухої перегонки гарячі газоподібні компоненти діють на тверде паливо. Оскільки кисню в зоні горіння не має, відбувається процес сухої перегонки з виділенням газо- і пароподібних продуктів, смолистих речовин. Паливо перетворюється спочатку у напівкокс, потім у кокс. Генераторний газ, який утворюється в другій зоні, піднімається до гори, змішується з продуктами сухої перегонки і ця суміш, прямуючи до вихідного отвору, нагріває вищі шари палива до  $150\text{...}200^\circ\text{C}$ .

Недоліком прямого процесу газифікації є те, що генераторний газ значно забруднюється продуктами сухої перегонки (смолистими речовинами, органічними сполуками, вугільним пилом тощо). Перед використанням такого газу в ДВЗ, його попередньо обов'язково очищують.

Ці недоліки усунуто в газогенераторах з оберненим і горизонтальним процесами. В них генераторний газ відводиться з низу газогенератора зразу ж після зони газифікації, а продукти зон сухої перегонки і підсушки, проходячи через зону горіння згорають і не засмічують газ. Це дозволяє значно спростити установку очищення газу, що має велике значення для транспортних машин.

Склад генераторного газу залежить від палива, яке газифікується за умов в яких проходить процес (табл. 1.27).

Генераторний газ, одержаний із різних видів твердого палива, може бути використаний для роботи ДВЗ. Для роботи газогенераторів з метою одержання генераторного газу можна використовувати дрова, торф, деревне, буре та кам'яне вугілля, кокс і напівкокс, брикети з різних сільськогосподарських відходів (тирса, лузга тощо).

Таблиця. 1.27

Склад генераторного газу, % за об'ємом

| Паливо             | Склад генераторного газу, % за об'ємом |                |                 |                 |                |                | Теплота згорання<br>$Q_n$ ,<br>кДж/м <sup>3</sup> |
|--------------------|--|----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|---|
|                    | CO                                     | H <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub> | CO <sub>2</sub> | O <sub>2</sub> | N <sub>2</sub> |   |
| Дрова              | 28,5                                   | 14,0           | 3,5             | 8,0             | 0,5            | 45,5           | 5861  |
| Деревне вугілля    | 30,5                                   | 12,0           | 2,3             | 5,0             | 0,2            | 50,5           | 5778  |
| Формований торф    | 28,0                                   | 15,0           | 3,0             | 8,0             | 0,4            | 45,6           | 6280  |
| Донецький антрацит | 27,5                                   | 13,5           | 0,5             | 5,5             | 0,2            | 52,8           | 5024  |

---

---

## 5.5. Особливості одержання і використання біогазу

Біомасою називають все те, з чого складаються рослини та тварини, а також відходи їх життєдіяльності. Біомаса рослин на суші нашої планети становить  $2,4 \cdot 10^{12}$  т. В океані щорічно утворюються  $0,6 \cdot 10^{10}$  т рослинної маси. Шляхом фотосинтезу виробляється 173 млрд т речовин (на суху масу), що приблизно у 20 разів перевищує енергію корисних копалин, що видобуваються у світі.

За даними ООН, від різних злакових рослин, вирощуваних на планеті, щорічно утворюється 1700 млн т соломи, велика частина якої не використовується. Не використовується, як правило, 120 млн т відходів після обробки цукрової тростини. Аналогічна картина із стеблиною бавовнику. Великі відходи тваринництва та птахівництва.

Із загальної кількості біомаси тільки 0,5% використовується людиною для їжі. Біомаса як акумулятор значної енергії може її віддавати при використанні відповідних біохімічних процесів.

За типом енергетичних процесів, пов'язаних із переробкою біомаси, розрізняють такі способи:

- *пряме спалювання для безпосереднього одержання тепла.* Основні вимоги до біопалива: висока теплотворна здатність, низька вологість та зольність;

- *піроліз.* Відбувається нагрівання до значних температур біомаси при повній або частковій відсутності кисню. Якщо піроліз провадиться з єдиною метою – отримати горючий газ, то процес ще називають газифікацією біомаси. Горючий газ (в основному  $H_2$  і  $CO$  із малими домішками  $CH_4$ ), одержуваний при цьому, має теплоту згоряння  $4 \dots 8$  МДж/м<sup>3</sup>;

- *спиртова ферментація.* Етиловий спирт або етанол – летке, рідке паливо, яке можна використати замість бензину. Його можна одержати як за допомогою хімічного синтезу, так і при спиртовому бродінні;

---

---

- *анаеробна переробка*. Біомаса під впливом певних груп мікроорганізмів при відсутності кисню може розкладатися на метан ( $\text{CH}_4$ ), вуглекислий газ ( $\text{CO}_2$ ) та попутні гази. Ця суміш одержала назву біогаз, який має високу теплотворну здатність. При виробництві біогазу, крім біомаси рослинного походження, широко застосовують відходи тваринництва, фізіологічні відходи людини, промислові та міські відходи органічного походження.

У природних умовах розкладання біомаси відбувається під дією багатьох бактерій, що називають анаеробними. При цьому мають бути наявні волога і теплота та відсутнє світло. У присутності атмосферного кисню вуглець біомаси розкладається (згоряє) до вуглекислого газу. Якщо біомаса перебуває в обмеженому об'ємі із недостатнім надходженням кисню із зовнішнього середовища, то за певних умов розвиваються анаеробні бактерії. Під впливом цих бактерій вуглець біомаси розподіляється між повністю відновленим –  $\text{CH}_4$  і повністю окисленим –  $\text{CO}_2$ .

Існує ряд умов, що забезпечують ефективність дії анаеробних бактерій. До найбільш значних відносяться підтримання постійної температури. Як правило, виділяють три характерні рівні температур, що відповідають певному виду анаеробних бактерій.

Нижчий рівень температур, за якого відбувається психрофілічне бродіння, становить до  $20^{\circ}\text{C}$ . Ця група бактерій діє при температурі навколишнього середовища у теплий період року. За рахунок бродіння відбувається розкладання біомаси у трясовині боліт і утворення “болотного” газу, який є біогазом.

При середньому рівні температур, що становить  $30...40^{\circ}\text{C}$  (оцінка значення температур наводиться приблизно), розвивається зоофільна група бактерій. При цьому оптимальним вважається значення температури  $32...34^{\circ}\text{C}$ . Вищий рівень визначається значенням температур  $45...85^{\circ}\text{C}$ . При цьому відбувається термофільне бродіння. Оптимальним вважають значення температури у межах  $52...55^{\circ}\text{C}$ .

Термофільне та мезофільне бродіння не може відбуватися без додаткових затрат енергії на піднімання заданої температури процесу. Причому анаеробні бактерії дуже хворобливо реагують не тільки на величину, а й на різні зміни температури. Збільшення температури процесу призводить до збільшення виходу біогазу, а отже, і до зменшення повного часу розкладання біомаси. Вважається, що збільшення температури процесу на  $5^{\circ}\text{C}$  веде до подвоєння виходу біогазу.

Більшість метаноутворюючих бактерій добре розвивається у нейтральному середовищі із  $pH=6,5\dots 7,5$ . Потрібний певний вміст азоту і фосфору: близько 10% та 2% маси сухого зброжувального матеріалу відповідно. При повному зброжуванні біомаси утворюються 50...75%  $\text{CH}_4$ , 45...20%  $\text{CO}_2$ , 1%  $\text{H}_2\text{S}$  і незначні кількості азоту, кисню, водню та закису вуглецю. У середньому вважають, що  $1\text{ м}^3$  біогазу при згорянні може дати 20...25 МДж енергії, або енергія, що міститься у  $1\text{ м}^3$  біогазу еквівалентна енергії  $0,6\text{ м}^3$  природного газу,  $0,74\text{ л}$  нафти або  $0,66\text{ л}$  дизельного палива.

Тривалість зброжування гною залежить від виду біомаси і температури зброжування. Для гною великої рогатої худоби та курячого посліду тривалість становить приблизно 20 діб, для свинячого гною – 10 діб. Активність мікробної реакції значною мірою визначається співвідношенням вуглецю та азоту. Найбільш сприятливі умови створюються при співвідношенні  $\text{C/N}=10\dots 16$ .

За добу від однієї тварини можна одержати таку кількість біогазу: велика рогата худоба (масою 500...600 кг) –  $1,5\text{ м}^3$ , свиня (масою 80...100 кг) –  $0,2\text{ м}^3$ , курка, кріль –  $0,015\text{ м}^3$ .

Для одержання біогазу можуть бути використані силос, солома, харчові відходи та ін.

У середньому  $1\text{ м}^3$  біогазу може дати 21...29 МДж енергії, яку можна використовувати для різних потреб сільського господарства. Від  $1\text{ м}^3$  біогазу за допомогою електричного генератора, що приводиться у дію газовим двигуном, можна отримати  $1,6\text{ кВт-год}$  електроенергії.

---

---

Біогаз можна спалювати як паливо у пальниках опалювальних установок, водогрійних котлів, газових плит, в автотракторних двигунах, агрегатах інфрачервоного випромінювання.

У тваринництві для підігріву води потреба у біогазі на одну тварину становить: дійної корови – 21...30 м<sup>3</sup>, свині – 1,5...5 м<sup>3</sup>. Великі значення цифр відносяться до малих ферм, менші – до середніх. Потреба у біогазі для опалення доїльних приміщень дорівнює: при кількості корів 40 – 160/330 м<sup>3</sup>/рік, при кількості корів 60 – 120/140 м<sup>3</sup>/рік, при кількості корів 80 – 260/530 м<sup>3</sup>/рік (у чисельнику вказані дані при температурі зовнішнього повітря до -10<sup>0</sup>С, у знаменнику – при температурі нижче -10<sup>0</sup>С).

Для опалення птахівницьких ферм при зовнішній температурі -10<sup>0</sup>С і внутрішній 18<sup>0</sup>С потрібно приблизно 1,2 м<sup>3</sup>/год біогазу на 1000 голів.

Залишок (метанову бражку) можна використовувати як добриво.

Залежно від особливостей технологічної схеми розрізняють три типи біогазових установок (БГУ): безперервні, періодичні та акумулятивні

При безперервній (протоковій) схемі (рис. 1.41) свіжий субстрат завантажують у камеру зброджування безперервно або через певні проміжки часу (від 2 до 10 разів за добу), видаляючи при цьому заброджену масу. Ця система дає можливість одержати максимальну кількість біогазу, але вимагає більших матеріальних витрат.

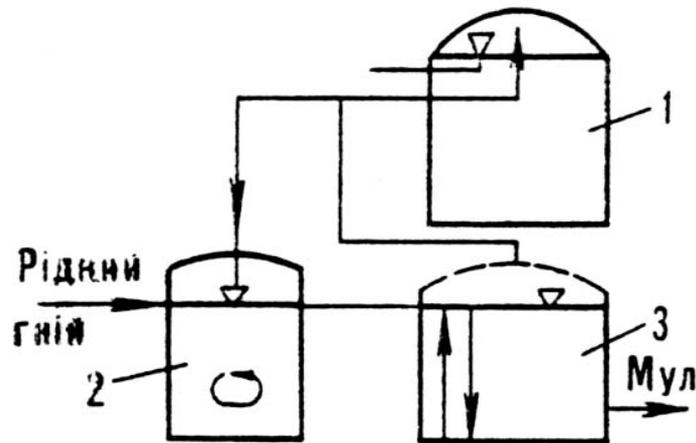


Рис. 1.41. Схема біогазової установки безперервного зброджування:  
1 – газгольдер; 2 – реактор; 3 – сховище

При періодичній (циклічній) схемі (рис. 1.42) наявні дві камери зброджування, які завантажують по черзі.

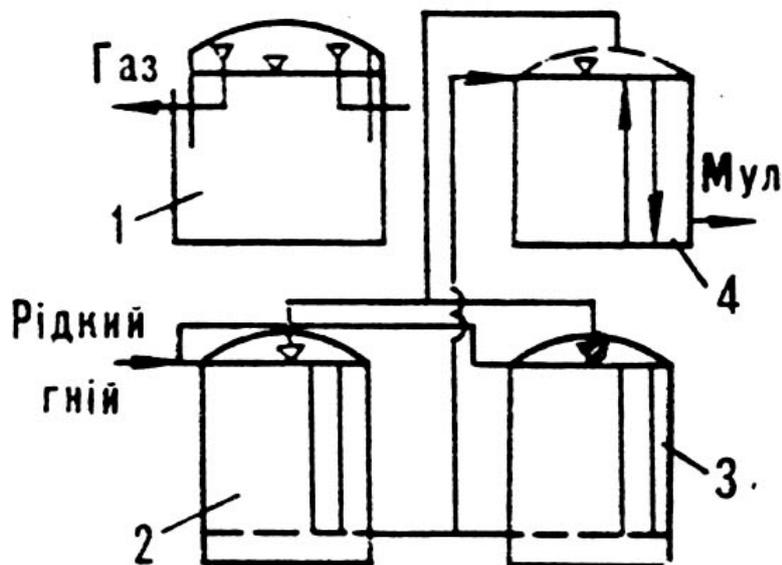


Рис. 1.42. Схема періодичного зброджування:  
1 – газгольдер; 2 – перший реактор; 3 – другий реактор; 4 - сховище

У даному випадку корисний об'єм використовується менш ефективно, ніж при безперервній. При акумулятивній схемі сховище для гною служить одночасно камерою

зброджування і зберігання перебродженого гною до його вивантаження (рис. 1.43).

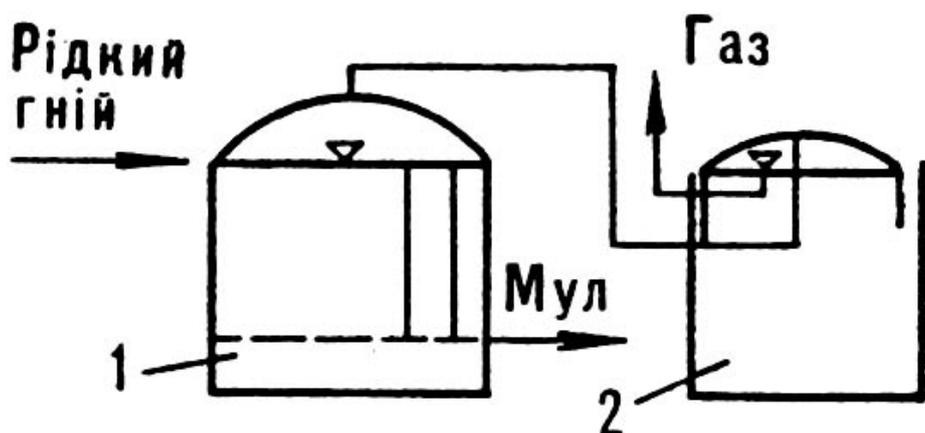


Рис. 1.43. Схема акумулятивного зброджування:  
1 – реактор і сховище; 2 – газгольдер

Біогазові установки складаються із таких елементів: камери зброджування (прийняті також назви – реактор, ферментатор, метантенк), нагрівального пристрою (теплообмінника), пристрою для перемішування і газгольдера.

Метантенки виконують надземними, напівзаглибленими і заглибленими в ґрунт.

Камери зброджування виготовляють різної форми: циліндричні, кубічні, у вигляді паралелепіпеда і більш складної конструкції. Вони бувають одно- і двосекційними, встановлюють вертикально, горизонтально-похило. Метантенки виготовляють з металу, пластмаси, залізобетону. Схема заглибленого односекційного метантенка наведена на рис. 1.44.

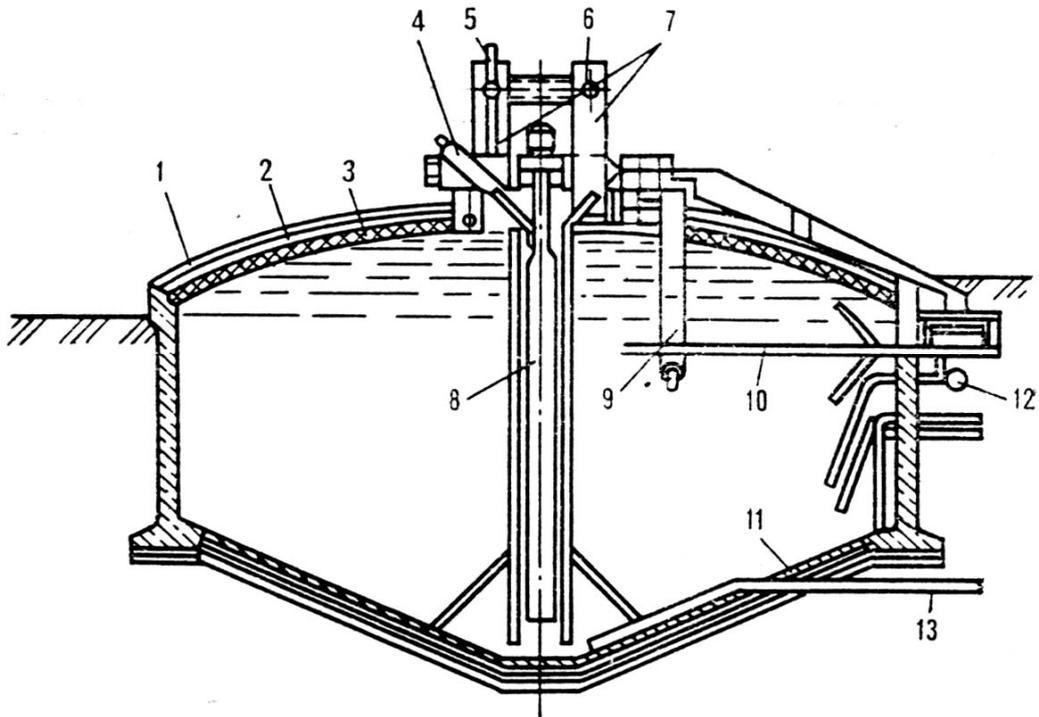


Рис. 1.44. Схема заглибленого метантенка:

1 - м'який дах; 2 - цегла; 3 - теплоізоляція; 4 - люк; 5, 9 - труби відповідно для випуску газу в атмосферу і переливання; 6 - газопровід для газового ковпака; 7 - газові ковпаки; 8—пропелерний перемішувач; 10, 13 - трубопроводи відповідно для завантаження сирого осаду і для випорожнення метантенка; 11 - днище метантенка; 12 - паровий інжектор для підігріву метантенків

*Нагрівальні прилади* застосовують для підтримання необхідної для зброджування температури. Підігрів рідкого субстрату здійснюють перед завантаженням або у камері зброджування. Залежно від ступеня ізоляції камер і трубопроводів потреба у теплі може досягти 30% енергії, що виділяється біогазом. Нагрівальні прилади, як правило, поєднують із перемішувальними (рис. 1.45). Теплообмінники розміщують різними способами: у стіні камери (рис. 1.45.а), у нижній частині реактора (рис. 1.45.б), у циліндричній сорочці шнека змішувача (рис. 1.45.в), по периметру камери у вигляді змійовика (рис. 1.45.д). Використовується також метод підігріву субстрату за допомогою пари (рис. 1.45.е).

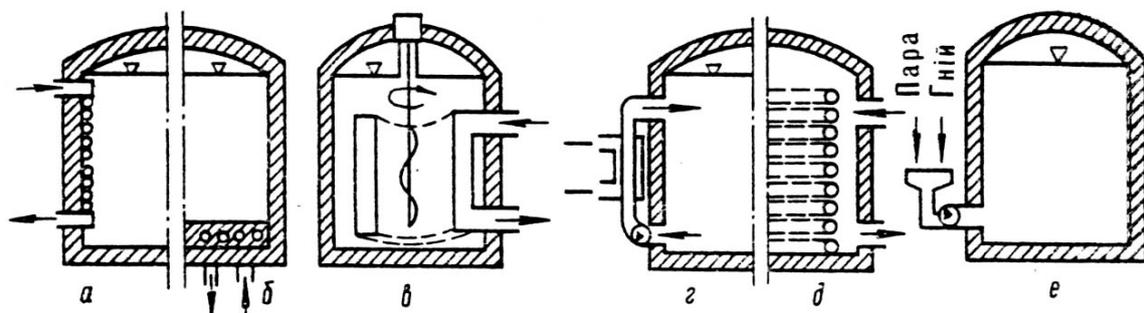


Рис. 1.45. Схема нагрівальних приладів:

- а – настінного; б – донного; в – розміщеного в опалювальному циліндрі;  
 г – розміщеного за межами реактора; д – у вигляді змійовика;  
 е – з використанням пари

Для перемішування субстрату застосовують механічні, гідравлічні і газові прилади.

*Газгольдери* призначені для збирання і зберігання біогазу. Найпростіші газгольдери поєднують із метантенком (рис. 1.46.а). Зручний в експлуатації і тому перспективний у сільському господарстві “мокрый” газгольдер низького тиску (рис. 1.46. б).

Газгольдери високого тиску (0,8...1 МПа) мають сферичну форму (рис. 1.46.в). У “мокрих” газгольдерах дзвінкого типу тиск газу не високий (менше 5 кПа).

Розрізняють чотири види біогазової установки: найпростіші, без підведення теплоти і перемішування зброджувального субстрату; без підведення теплоти але із перемішуванням субстрату; із попередньою підготовкою субстрату для зброджування, підведенням теплоти, перемішуванням; контролем і керуванням анаеробним процесом.

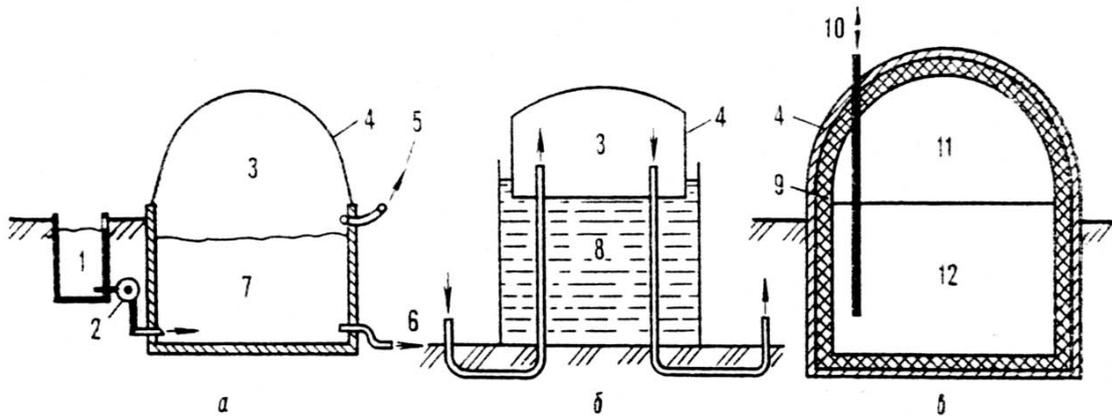


Рис. 1.46. Схеми газгольдерів:

а – суміщений з метантенком; б – «мокрый» однопідйомний;  
 в – заглиблений для зрідженого газу;

1–гноєнагромаджувач; 2–насос; 3 – біогаз; 4–ковпак; 5, 6–випуск газу і шлаку;  
 7–зброджений субстрат; 8 – вода; 9 – шар ізоляції; 10 – труби для наповнення і  
 випорожнення газгольдера; 11–повітря; 12–зріджений біогаз

У простих, найчастіше невеликих установках, котрі споруджують власними силами, ємкість для газу розміщують над бродильною камерою (рис. 1.47). У країнах східної Азії поширені еластичні реактори, що мають форму пузиря. Їх виготовляють із цупкої прогумованої або пластмасової оболонки, посиленої прошарками із тканини. Оболонка заглиблена у півсферичну виїмку у ґрунті (рис. 1.48).

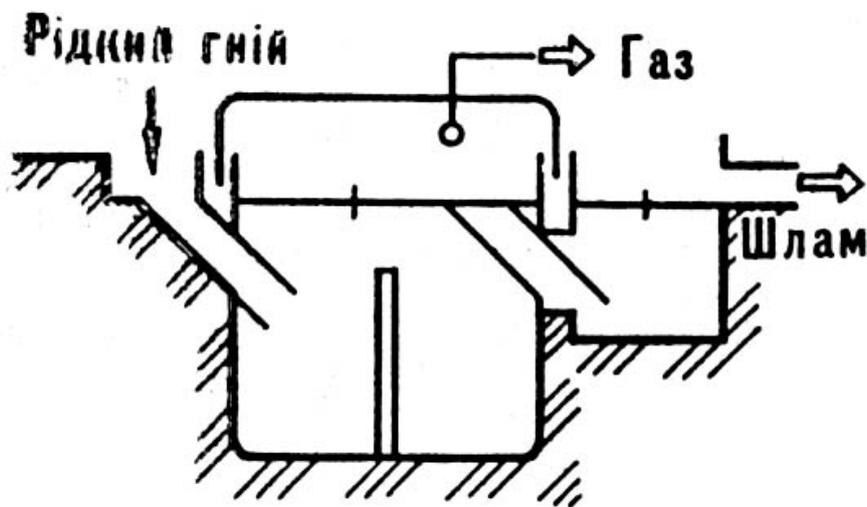


Рис. 1.47. Найпростіша двокамерна біогазова установка

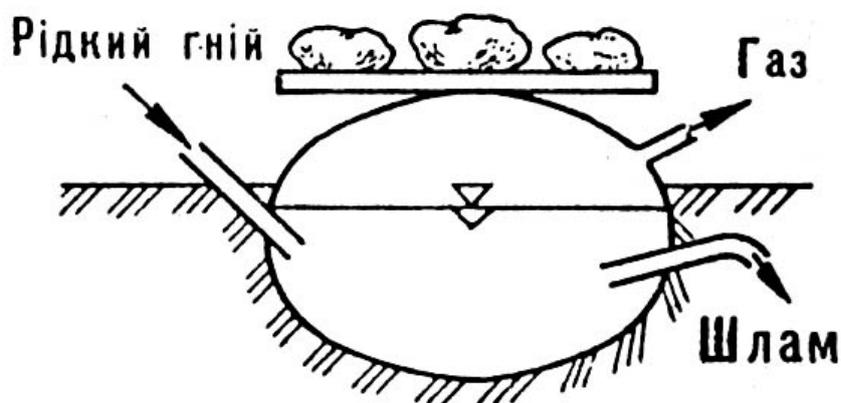


Рис. 1.48. Реактор з еластичною оболонкою

### 5.6. Особливості застосування газоподібного палива в сільському господарстві

Всі вуглеводневі гази маючи високу теплоту і температуру згоряння і достатньо низьку займання, надзвичайно пожежно небезпечні при розгерметизації трубопроводів і ємностей, в яких вони транспортуються і зберігаються. У повітрі погано вентильованих приміщень, навіть при незначних витіканнях газу, можуть утворюватися вибухонебезпечні газоподібні суміші. Одним із засобів зниження вибухонебезпечності є змішування природних газів з деякими штучними (крекінговим, світильним), у яких менші межі вибуховості, тому часто до споживачів надходить змішаний подвійний або потрійний газ. Відсутність запаху у більшості з газів і кольору у всіх вуглеводнів створює труднощі для виявлення газу при витіканні. Для своєчасного виявлення витікання газу йому надають специфічний запах, додаючи гостропахнучі речовини, які називають одорантами. Як одоранти використовують меркатан і його сполуки, найчастіше метил і етилмеркатан. У невеликих концентраціях меркатани не шкідливі для організму людини і не руйнують матеріали деталей, що застосовують в системах живлення, в технологічних процесах і побутовій техніці. Запах адоранта, наприклад, етилмеркатану відчувається навіть при концентраціях 0,19 г в 1000 м<sup>3</sup> повітря. Одоризацію природних газів здійснюють на газорозподільних станціях, а зрідження – на газонафто-

переробних заводах. Наприклад, на 100л зрідженого газу додають 2,5г етилмеркатану і при такій концентрації можна визначити витікання 0,4...0,5% газу в повітрі. Так концентрація газу в повітрі вибухобезпечна, оскільки складає всього 20% нижньої межі займання. Разом з тим меркаптан має особливості збиратися у невеликій кількості в моторному маслі, системах живлення і пуску. Природні гази легші ніж повітря і тому збираються у верхній частині приміщення, а пари зріджених газів за густиною перевищують повітря і збираються в низьких місцях, які, як правило, погано провітрюються. При атмосферному тиску вуглеводневі гази не токсичні, але їх присутність у приміщенні знижує в ньому вміст кисню. Потрапивши на шкіру людини рідка фаза пропан-бутанової суміші спричиняє обмороження, що нагадує опік. Санітарними нормами передбачається максимально допустима концентрація в повітрі приміщення насичених вуглеводнів 300 мг/м<sup>3</sup>, а ненасичених –100 мг/ м<sup>3</sup>.

### **5.7. Закордонні класифікації газоподібних палив**

Масштаби використання газоподібного палива, як палива ДВЗ, у закордонних країнах залежить від співвідношення цін на рідке і газоподібне паливо, а також від вимог максимального використання власних ресурсів і зведення до мінімуму залежності від кон'юктури ринку на нафтопродукти.

Найбільшого поширення стиснутий і розріджені гази, як паливо для ДВЗ, одержали в Японії, США, Новій Зеландії і Канаді, а в європейських країнах – в Італії, Німеччині, Франції, Бельгії та Англії.

У США в 2002 р. використання зрідженого газу, як палива для ДВЗ, досягло більше 5 млн. т, на ньому працює приблизно 700 тис. автомобілів. Прийнята програма переобладнання автомобілів на стиснутий природний газ. На газ переведені в основному автомобілі сфери обслуговування, в тому числі вантажні і легкові автомобілі, таксі. Всі автомобілі виготовлено за універсальною схемою живлення. При використанні стиснутого газу вартість експлуатації зменшується в 1,6 рази у порівнянні з використанням рідкого палива, збільшується строк служ-

би двигуна до капітального ремонту (з 95 до 130 тис. км), вартість установки обладнання окупається за 2...5 років. Ціна 1 м<sup>3</sup> стиснутого газу в 2,8 рази менше ціни 1 л бензину. Для інших країн різниця в цінах на бензин і газоподібне паливо складає: в Німеччині 25%, в Австралії – 34%, в Італії – 38% і в Нідерландах – 56%.

Провідне місце в області застосування газоподібного палива займає Італія. В цій країні переведення автомобілів на газоподібне паливо почалось ще в 30-ті роки. В даний час в Італії на газобалонні автомобілі в структурі парку припадає 4,6%, у тому числі 1,6% на автомобілі, що працюють на стиснутому природному газі. Загальне споживання газоподібного палива на автомобільному транспорті Італії складає 3% (у тому числі 1,2% стиснутого) від загальної кількості газу, що витрачається галузями національної економіки.

У Канаді 1 м<sup>3</sup> стиснутого природного газу нижче вартості 1 л бензину в 2 рази. В цій країні існують і інші стимули (податкові пільги, державна дотація в розмірі 400 доларів на автомобіль при переведенні його на природний газ), що робить економічно вигідним використання газоподібного палива. В результаті цього строк окупності газобалонного обладнання становить біля 1 року.

У Німеччині значне поширення газоподібне паливо одержало у 80-ті роки. Перевагу в цій країні надають зрідженому газу. Автомобільний транспорт у 2002 році витратив біля 50 млн. т зрідженого газу і споживання його зростає.

Інтерес становить досвід експлуатації газобалонних автомобілів Японії, яка не має власних сировинних ресурсів для виробництва зрідженого газу, але досягла помітних успіхів в області ефективного його використання. В Японії таксомоторний парк (більше 300 тис. автомобілів) працює на зрідженому газі. Діє державний стандарт, який регламентує склад та інші параметри газу при його використанні в літній і зимовий періоди:

|  |           |
|--|-----------|
| Густина в рідкій фазі при 15 °С, Н/л             | 5,5...5,6 |
| Температура пароутворення, °С, не більше при 95% | 0         |

## Газоподібне паливо

|                                     |                       |
|-------------------------------------|-----------------------|
| при 100%                            | +2                    |
| Тиск пари при 37,8 °С, МПа          | 0,5...0,85/0,3...0,55 |
| Вміст сірки (за масою), % не більше | 0,01                  |
| Склад газу (за масою), %:           |                       |
| пропан                              | 20...40/0...20        |
| бутан та ізобутан                   | 80...40/100...80      |
| бутилен та ін., не більше           | 5,0                   |
| залишок, % не більше                | 0,5                   |

*Примітка. У чисельнику наведені дані для зимового виду, у знаменнику – для літнього.*

В інших країнах використовують зріджений газ різного виду, включаючи чистий пропан (США) і бутан (Швеція). Склад і теплотехнічні властивості, як правило, достатньо жорстко регламентуються. Відхилення від нормального складу обмежується межами А і В, які гарантують зміну теплоти згоряння і випаровування, що забезпечує економічну і надійну роботу двигунів при будь-яких погодних умовах (табл. 1.28).

*Таблиця. 1.28*

Характеристика зрідженого газу, який застосовується у Франції

| Показник                         | Номінальний склад | Границя |       |
|----------------------------------|-------------------|---------|-------|
|                                  |                   | А       | В     |
| Теплота згоряння, кДЖ/кг         | 45700             | 45300   | 46000 |
| Густина при 15 °С, Н/л           | 5,73              | 5,80    | 5,63  |
| Тиск при, МПа:                   |                   |         |       |
| при 0 °С                         | 0,16              | 0,13    | 0,21  |
| при 50 °С                        | 0,92              | 0,81    | 1,08  |
| Склад рідкої фази, % за об'ємом: |                   |         |       |
| пропан                           | 29                | 21      | 38    |
| бутан                            | 27                | 16      | 26    |
| ізобутан                         | 24                | 31      | 20    |
| пропен і бутен                   | 19                | 31      | 15,4  |
| етан і ізопентан                 | 1                 | 1       | 0,6   |

# РОЗДІЛ 2

## Використання та експлуатаційні властивості мастильних матеріалів для енергетичних засобів сільськогосподарського виробництва і а вто-транспортних підприємств

---

- 1. *Загальні відомості про мастильні матеріали*
- 2. *Мастильні матеріали та їх властивості*
- 3. *Моторні масла*
- 4. *Трансмісійні масла*
- 5. *Масла для гідравлічних систем*
- 6. *Пластичні мастильні матеріали*
- 7. *Масла іншого призначення*

## **1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО МАСТИЛЬНІ МАТЕРІАЛИ**

- 1.1. Роль мастильних матеріалів у використанні машин*
- 1.2. Аспекти проблеми поняття про тертя і його види*
- 1.3. Призначення мастильних матеріалів та пред'явлені до них вимоги*
- 1.4. Класифікація мастильних матеріалів*

### **1.1. Роль мастильних матеріалів у використанні машин**

Процес технічного переозброєння, що відбувається, в усіх галузях народного господарства України енергонасиченої і високопродуктивною технікою нерозривно зв'язаний з розробкою і застосування нових сортів мастильних матеріалів, що забезпечують надійну і довговічну роботу машин і механізмів. Одночасне застосування нових сортів масел вимагає вишукування оптимальних режимів їхнього використання. Ці задачі можна, вирішити тільки при оволодінні знаннями по хімії і технології мастильних матеріалів, обліку реальних умов роботи машин і науково обґрунтованому виборі режимів використання мастильних матеріалів.

Великий внесок у розвиток вітчизняної науки по цій галузі внесли праці російських учених Н.И. Черножукова, С.Е. Крейна, К.К. Папок, К.С. Рамайя, Г.В. Виноградова, Б.В. Лосікова, Е.Г. Семенідо і багатьох інших. При їхній участі були створені мастила нових сортів і присадки до них, розроблені нові методи

і прилади для оцінки експлуатаційних властивостей олій, вивчений вплив хімічного складу на їхню якість, досліджені процеси окислювання і впливу цих продуктів на роботу двигуна.

Розвиток виробництва нових мастил нерозривно зв'язано з працями по теорії і конструюванню двигунів і машин учених академіків В. Н. Болтонского й Е. А. Чудакова, професорів Д. Н. Вирубова, А. С. Орлина, М. М. Вихерта, И. М. Леніна і др.

У зв'язку з різноманіттям моделей двигунів і різних умов експлуатації питання розробки, підбора і використання мастильних матеріалів для забезпечення високої експлуатаційної надійності і довговічності являються досить важливими й одночасно складними. У зв'язку з цим знання питань закономірностей поведження моторних олій у взаємозв'язку з характером роботи і технічним станом двигунів представляє важливу задачу для створення нових перспективних сортів олій.

Професор К.К. Папок обґрунтував думку і вніс істотний вклад у розвиток нової науки – хімотології, що повинна об'єднати цілий ряд суміжних наук, щоб прискореними темпами вирішувати питання ефективного використання техніки.

## **1.2. Аспекти проблеми поняття про тертя і його види**

Як впливає з основних положенні в хімотології і трибо-техніки, проблеми зменшення тертя, корозії і загального зносу автомобілів, як і інших машин і механізмів, тісно зв'язані між собою. Якщо під загальним зносом металовиробу розуміти погіршення його функціональних властивостей і відповідне зменшення його первісної вартості, то загальний знос можна представити як сукупність різних видів зносу в тому числі корозії, і корозійно-механічних видів зносу.

При роботі різних вузлів і механізмів відбувається взаємне переміщення дотичних поверхонь деталей, при якому виникає тертя. Тертю у свою чергу супроводжує знос деталей. Оскільки сила тертя спрямована по дотичній до поверхні тертьових деталей і убік протилежну рухові, то вона є шкідливою. Від

## Загальні відомості про мастильні матеріали

---

---

величини сили тертя, на подолання якої затрачається енергія, буде залежати коефіцієнт корисної дії механізму, а від характеру тертя величина зносу поверхонь і термін служби механізму

У залежності від характеру відносного переміщення деталей розрізняють тертя ковзання, що відноситься до тертя першого роду і тертя катання, що відноситься до тертя другого роду. Розрізняють також статичне тертя, що перешкоджає початкові руху і динамічне тертя – сила, що виникає при русі поверхонь.

Тертя ковзання по наявності і розподілові на тертьових поверхнях мастильного матеріалу може бути:

- сухе – між тертьовими поверхнями відсутнє мастильна речовина;

- рідинне – тертьові поверхні цілком раз ділені шаром мастильної речовини і тертя відбувається не між тертьовими поверхнями, а між частками самі речовини, що змазує;

- граничне – тертьові поверхні розділені найтоншим молекулярним шаром адсорбованих на них мастильних речовин;

- змішане – котре може бути напівсухим, що є перехідним між сухим і граничним тертям і напіврідинним, що є перехідним між рідинним і сухим або рідинним і граничним тертями.

Сухе тертя є вкрай небажаним, тому що воно приводить до різкого підвищення зносів тертьових поверхонь, зростанню затрачуваної енергії на подолання тертя, а високі температури, що розвиваються при цьому викликають задирки поверхонь, виплавку підшипників і т.д.

Сила при сухому терті може бути визначена, виходячи з закону Амонтон-Кулона, по формулі

$$F = f \cdot P \quad (2.1)$$

де  $f$  – коефіцієнт тертя, що залежить від матеріалу і якості обробки поверхонь, рівний 0,1...0,9;

$P$  – навантаження, нормальне до поверхні тертя.

*Коефіцієнт тертя* – це відношення сили тертя двох тіл до нормальної сили, що притискає ці тіла одне до іншого.

Рідинне тертя на відміну від сухого, при роботі вузла забезпечує різке зменшення зносу і нагрівання деталей, скорочує втрати енергії на тертя, а також підвищує надійність і довговічність у роботі машин і механізмів. Рідинне тертя обумовлюється насамперед в'язкістю мастильної речовини, що знаходиться в зазорі між тертьовими поверхнями.

Проф. Н. П. Петров установив, що поведження мастильної речовини в шарі при взаємному переміщенні робочих поверхонь в умовах рідинного тертя підкоряється законам гідродинаміки. Розроблена в 1882 р. і потім підтверджена працями вітчизняних учених (Е.Е. Жуковським, С.А. Чаплигіним і ін.) гідродинамічна теорія змащування, з'явилася величезною подією в розвитку техніки і практиці застосовування мастил. Завдяки цій теорії можна визначати умови, що забезпечують рідинне тертя, значення сили тертя, кількість теплоти, що відводиться мастилом, і т.д. Рідинне тертя, відповідно до гідродинамічної теорії, можливо за рахунок несучої здатності масляного шару, що виникає в результаті гідродинамічного тиску в масляному клиновому зазорі (рис. 2.1).

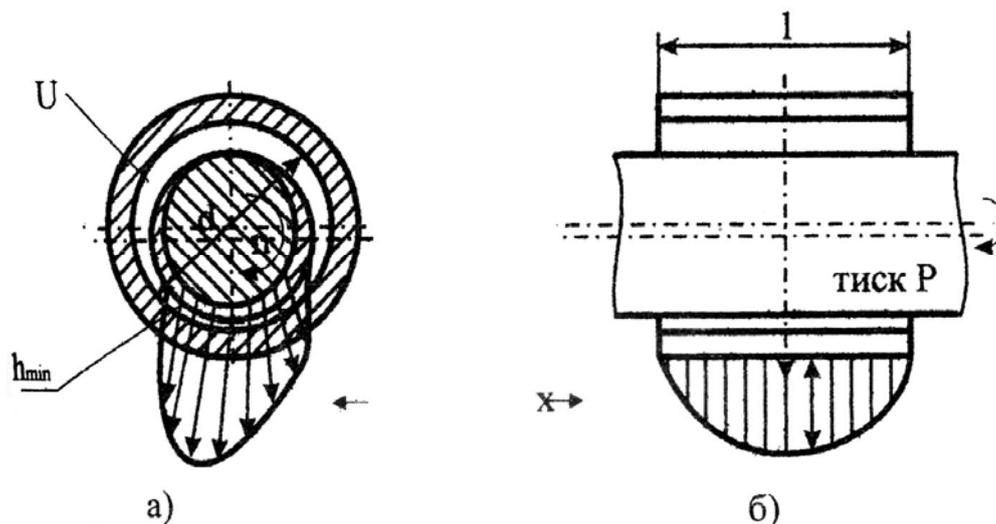


Рис. 2.1. Розподіл тисків усередині масляного шару підшипника:  
а) – у поперечному перерізі; б) – у поздовжньому перетині;  
 $P$  – навантаження,  $X$  – епюра тисків усередині масляного шару;  
 $U$  – область розрядження

При обертанні вала, масло, що знаходиться в зазорі підшипника, захоплюється їм, і в зазорі, що звужується, виникає тиск, під дією якого вал як би спливає. Зі збільшенням швидкості обертання вала, клинова дія масляного шару усе більш підвищується і вал прагне прийняти центрове положення в підшипнику, а мінімальний шар масла ( $h_{\min}$ ) зростає при цьому і тертьові поверхні цілком розділяються мастильним шаром. Тиск усередині масляного шару залежить від опору витіканню масла, що зв'язано з довжиною шляху його руху по підшипнику, рис. 2.1 б. Зі збільшенням шляху руху масла по підшипнику його тиск буде вище. У застосовуваних підшипниках машин, тиск усередині масляного шару в 2,5...3,0 рази більше середнього питомого тиску на підшипник. Чим тиск, що вище розвивається, у масляному шарі, тим велике навантаження може витримувати масляний шар без зіткнення тертьових поверхонь. При однакових товщині масляного шару і відносній швидкості руху тертьових поверхонь, великі тиски, що розвиваються, усередині масляного шару будуть мати місце для масла з більшою в'язкістю.

Необхідний мастильний шар, що розділяє тертьові поверхні, буде забезпечуватися в тому випадку, коли тиск, що розвивається маслом в масляному шарі, буде вищий питомого навантаження на підшипниках. Отже, при малих швидкостях обертання вала і при невисоких значеннях в'язкості масла умови для забезпечення рідинного тертя не створюються.

Для розрахунку мінімальної товщини мастильного шару в підшипнику або в'язкості мастила для забезпечення рідинного тертя проф. Н.П. Петровим запропонована формула, за якою значення сили рідинного тертя ( $F_{ж}$ ) визначається як

$$F_{ж} = \frac{\eta \cdot V \cdot S}{h}, \quad (2.2)$$

де  $\eta$  – динамічна в'язкість масла, Н·с/м<sup>2</sup>;

$S$  – площа поверхонь тертя, м<sup>2</sup>;

---

$V$  – відносна швидкість переміщення тертьових поверхонь, м/с;

$h$  – товщина масляного шару, м.

Коефіцієнт рідинного тертя ( $\mu$ ) може бути визначений за приведеною раніше формулою для визначення сили при сухому терті, у якій сила сухого тертя заміняється силою рідинного тертя, тобто

$$\mu = \frac{\eta \cdot V}{h \cdot P_m}, \quad (2.3)$$

де  $P_m = \frac{P}{S}$  – питомий тиск підшипника, Н/м<sup>2</sup>.

При деяких видозмінах формули (2.3) можна визначати необхідну в'язкість масла для забезпечення рідинного тертя, задавшись значенням мінімальної товщини мастильного шару. Або навпаки, перевірити товщину масляного шару при застосуванні масла з заданою в'язкістю. Мінімальна товщина мастильного шару при рідинному терті для автотракторних двигунів складає приблизно  $h_{\min} = 4 \dots 6$  мкм.

По гідродинамічній теорії при роботі підшипників в умовах рідинного, тертя коефіцієнт рідинного тертя (крива 1, рис. 2.2) лінійно залежить від величини  $\eta \cdot h / P_m$ . Безрозмірна величина  $\eta \cdot h / P_m$  являє собою характеристику режиму рідинного тертя, в яку входять всі основні фактори, що визначають умови роботи підшипників.

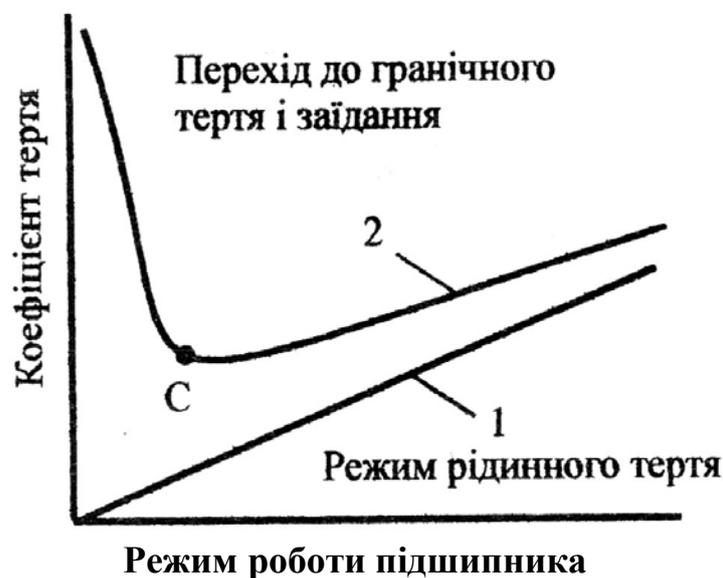


Рис. 2.2. Залежність коефіцієнта рідинного тертя від режиму роботи підшипника:

1 – експериментальна крива; 2 – лінія Н.И. Петрованика

У дійсних умовах роботи підшипників, через зменшення мінімальної товщини мастильного шару (що відбувається при падінні частоти обертання колінчастого валу, зниження в'язкості масла, при перевантаженнях, під час пуску тощо) коефіцієнт рідинного тертя має відхилення (рис. 2.2 крива 2). Точка С на кривій розділяє її на дві частини. Права частина відповідає режиму рідинного тертя роботи підшипників, ліва характеризує перехідний режим (перехід від рідинного тертя до граничного і навіть сухого, при якому може виникнути тиск третьових поверхонь).

У таблиці 2.1 приведені значення коефіцієнтів тертя при різних видах тертя.

*Граничне тертя.* Для забезпечення надійної і довговічної роботи автотракторних двигунів необхідно створювати умови для рідинного тертя. Однак у ряді випадків двигун може короткочасно працювати в несприятливих умовах (різке зростання навантаження, значне зниження частоти обертання колінчастого

вала, перегрів двигуна, надмірне зниження в'язкості масла тощо), при яких гідродинамічний шар масла порушується і рідинне тертя переходить у граничне. При граничному терті взаємодіють найтонші шари орієнтованих полярних молекул масла, що утримуються на тертьових поверхнях. У цьому випадку несуча здатність масла залежить від дії не гідродинамічних, а адсорбційних сил молекул. Тут проявляється нова, відмінна від в'язкості властивість мастила - маслянистість (яку іноді називають його змащувальною здатністю).

Таблиця 2.1

Значення коефіцієнтів тертя при різних видах тертя

| Вид тертя             | Значення коефіцієнта тертя |
|-----------------------|----------------------------|
| Ковзання:             |                            |
| - сухе                | 0,15...0,90                |
| - граничне            | 0,08...0,15                |
| - рідинне             | 0,007...0,03               |
| Кочення:              |                            |
| - кулькові підшипники | 0,001...0,003              |
| - роликові підшипники | 0,002...0,007              |

Під маслянистістю розуміють властивість мастила, обумовлену наявністю в ньому полярно-активних з'єднань, що дає змогу досить міцно утворювати та утримувати адсорбовані шари орієнтованих молекул на тертьових поверхнях. Адсорбований шар мастила не ідентичний шарові мастила при рідинному терті і до нього не можуть бути застосовні закони гідродинаміки. Маслянистість масла не однакова для різних металів і станів тертьових поверхонь, тому що молекули адсорбуються по-різному. Ця обставина обґрунтовує необхідність підбору для умов граничного тертя відповідних тертьових пар по металу, обробці тощо. Товщина шару адсорбованих молекул масла на тертьовій поверхні досить незначна і знаходиться в межах від 0,1 до 1 мкм. Гранична плівка здатна витримувати

## Загальні відомості про мастильні матеріали

---

---

досить значні навантаження, знижувати опір зрушенню та охороняти третю поверхню від сухого тертя.

Значення коефіцієнта граничного тертя знаходиться в межах 0,01...0,1.

Маслянистість масла може бути підвищена введенням у нього спеціальних полярно-активних речовин, молекули яких містять групи атомів з явно вираженою полярністю. Для мінеральних масел такими речовинами є масла, сірчасті з'єднання, деякі органічні кислоти тощо.

Напівсухе або напіврідинне тертя, варто вважати перехідним і короткочасним, тому що в основному воно виникає при пуску і зупинці двигуна, при перегріві, не відповідності в'язкості мастила. Щоб зменшити тертя і супутній йому знос, необхідно застосовувати такі масла, молекули яких міцно адсорбуються на третю поверхню.

*Тертя кочення.* Під тертям кочення розуміють силу, що виникає при перекочуванні одного твердого тіла, що має криволінійну поверхню, по поверхні іншого твердого тіла.

Сила тертя кочення завжди менше сили тертя ковзання, тому для тих вузлів, де це можливо, застосовують підшипники кочення. Це обумовлюється ще і тим, що при виході з ладу, підшипник кочення завжди можна легко замінити на новий, не розбираючи машину.

### **1.3. Призначення мастильних матеріалів та пред'явлені до них вимоги**

Для забезпечення надійної і довговічної роботи вузла, механізму, двигуна, машини досить важливе значення має якість застосовуваного масла, що призначається для забезпечення наступних основних функцій:

– запобігання або зменшення зношування третю поверхню деталей, а також охорону них від заїдання на всіх режимах роботи при експлуатації. Для цього масло повинне мати відповідну в'язкість і більш високу маслянистість, щоб за-

---

---

безпечувати при нормальних умовах роботи рідинне тертя, а на перехідних режимах при граничному терті можливі мінімальні зноси;

– зменшування тертя між сполученими поверхнями, з метою сприяння скороченню непродуктивних втрат енергії, а отже, і підвищенню ККД. У цьому відношенні масло повинне мати меншу в'язкість, але цілком достатню для забезпечення рідинного тертя. Одночасно з цим масло повинно володіти пологою кривою в'язкості, тобто в меншому ступені змінювати в'язкість із зміною температури, що особливо важливо при пуску двигуна і тим більше при мінусових температурах навколишнього повітря;

– відведення тепла від тертьових сполучень і деталей, що нагріваються, не допускаючи їх перегріву, що сприяє погіршенню умов роботи як деталей, так і мастила;

– захищення робочих поверхонь деталей від корозії, в результаті впливу різних факторів (води, кислотного середовища тощо);

– перешкоджання прориву робочої суміші і продуктів згоряння в картер двигуна, тобто погіршення компресії циліндро-поршневої групи;

– змивання з тертьових поверхонь деталей продуктів зносу та інших забруднень, переводячи їх у зважений стан і потім фільтрування;

– захищення поверхонь деталей від утворення на них смолисто-лакових відкладень і нагарів, що погіршують тепловіддачу від деталей і інші функції.

Значення коефіцієнта граничного тертя знаходиться в межах 0,01...0,1.

Маслянистість масла може бути підвищена введенням у нього спеціальних полярно-активних речовин, молекули яких містять групи атомів з явно вираженою полярністю. Для мінеральних масел такими речовинами є масла, сірчисті з'єднання, деякі органічні кислоти тощо.

Напівсухе або напіврідинне тертя, варто вважати перехідним і короткочасним, тому що в основному воно виникає при пуску і зупинці двигуна, при перегріві, не відповідності в'язкості мастила. Щоб зменшити тертя і супутній йому знос, необхідно застосовувати такі мастила, молекули яких міцно адсорбуються на тертьових поверхнях.

*Тертя качення.* Під тертям качення розуміють силу, що виникає при перекочуванні одного твердого тіла, що має криволінійну поверхню, по поверхні іншого твердого тіла.

Сила тертя качення завжди менше сили тертя ковзання, тому для тих вузлів, де це можливо, застосовують підшипники качення. Це порозумівається ще і тим, що при виході з ладу, підшипник качення завжди можна легко замінити на новий, не розбираючи машину.

### 1.4. Класифікація мастильних матеріалів

Вироблені і застосовувані мастильні матеріали класифікуються на цілий ряд груп, в залежності від ряду ознак, таких як: походження або вихідна сировина для одержання; зовнішній стан; призначення, вихідні умови застосування й ін.

За походженням або вихідною сировиною розрізняють такі мастильні матеріали:

– мінеральні або нафтові, які виробляються шляхом відповідної переробки нафти і є основною групою вироблених мастил (більш 90%). Вони у свою чергу в залежності від способу одержання класифікуються на дистилятні, залишкові і компаундировані або змішані;

– рослинні і тваринні, що мають органічне походження. Рослинні масла одержують шляхом переробки насіння певних рослин, у числі яких найбільш широке застосування в техніці одержали касторове, гірчичне і ріпакове. Тваринні масла одержують шляхом переробки тваринних жирів, серед яких знаходять застосування такі як: бараняче і яловиче сало, технічний риб'ячий жир, кісткові і спермацетові масла й ін. Слід

зазначити, що органічні масла мають більш високі змащувальні властивості, але мають низьку термічну стійкість у порівнянні з нафтовими маслами. У зв'язку з цим їх застосування обмежене і частіше за все їх використовують у суміші з нафтовими;

- синтетичні, які одержують з різної вихідної сировини різними методами, серед яких: каталітична полімеризація рідких або газоподібних вуглеводнів як нафтової, так і ненафтової сировин; синтез кремнійорганічних з'єднань (полісиліконів), одержання фторвуглеродних - масел і т.д. Синтетичні масла мають задані властивості і застосовуються для цілого ряду високовідповідальних вузлів тертя, але в силу високої вартості їх виробництва, вони мають обмежене застосування.

За зовнішнім станом мастильні матеріали поділяються на:

- рідкі мастила, що у звичайних умовах є рідинами, які володіють плинністю (нафтові і рослинні масла);

- пластичні або консистентні масла, що у звичайних умовах знаходяться в мазеподібному стані (технічний вазелін, солідмасла, консталини, жири й ін.). У свою чергу пластичні мастила підрозділяються на антифрикційні, консерваційні, ущільнювальні й ін.;

- тверді мастильні матеріали, що не змінюють свого стану навіть під дією ряду факторів (температури, тиску тощо). До них відносяться графіт, слюду, тальк, які звичайно застосовують у суміші з рідкими або пластичними мастильними матеріалами.

За призначенням мастильні матеріали поділяються на:

- моторні масла, призначені для двигунів внутрішнього згорання, що у свою чергу підрозділяються на масла для карбюраторних, дизельних, авіаційних і ін. двигунів;

- трансмісійні масла, призначені для мастило механізмів трансмісії тракторів, автомобілів, комбайнів, самохідних машин;

- індустриальні масла, призначені для гідравлічних систем різних машин;

- компресорні, приладові, циліндрові, електроізоляційні, вакуумні й ін.

## Загальні відомості про мастильні матеріали

---

---

В свою чергу розглянуті масла можуть бути підрозділені на:

- низькотемпературні, які застосовуються як мастило для вузлів при температурних умовах не вище 50...60°C (приладові, індустріальні масла й ін.);

- середньотемпературні, які застосовуються при температурах 150...200°C (турбінні, компресорні, циліндрові й ін.);

- високотемпературні, які застосовуються для вузлів, що піддаються впливу температур до 300°C и більше (головним чином моторні масла).

## **2. МАСТИЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ТА ЇХ ВЛАСТИВОСТІ**

- 2.1. Базові масла і способи їх отримання*
- 2.2. Функціональні добавки до масел*
- 2.3. В'язкість і в'язкісно-температурні властивості масел*
- 2.4. Хімічна стабільність та миючі властивості масел*
- 2.5. Низькотемпературні властивості масел*
- 2.6. Протикорозійні властивості*
- 2.7. Вплив вмісту води та механічних домішок на якість масла*
- 2.8. Протизносні та протизадирні присадки*
- 2.9. Випаровуваність масел*

### **2.1. Базові масла і способи їх отримання**

Базові масла в залежності від складу можуть бути нафтовими, синтетичними або напівсинтетичними.

Нафтові базові масла – одержують із залишку (мазуту), що утворюється після атмосферної перегонки нафти і видалення з нього бензинових і дизельних фракцій. Цей залишок піддається подальшій переробці, яка включає вакуумну перегонку, очищення, деасфальтизацію, депарафінізацію та інші процеси нафтопереробки:

– вакуумна перегонка дозволяє позбутися висококиплячих компонентів (гудрон) і розділити продукт, що переробляється, на ряд фракцій (дистилятів), які мають різну температуру

випіання, а значить і різну молекулярну масу, склад і властивості (щільність, в'язкість, індекс в'язкості, температуру спалаху тощо);

– очищення (селективна сернокислотна, гідроочищення, адсорбційне і ін.) проводиться для видалення небажаних компонентів (сірчистих і киснеутримуючих з'єднань, неграничних вуглеводнів тощо), які у процесі роботи масел можуть робити негативний вплив. Зазначені вище методи очищення в залежності від обраної технологічної схеми можуть застосовуватися як самостійно, так і в сполученні з іншими методами.

Нафтові базові масла, отримані за традиційними схемами виробництва та очищення, являють собою складні суміші вуглеводнів (ізопарафінових, нафто-парафінових, нафто-ароматичних, ароматичних різної ступені циклічності) з молекулярною масою 300...750 і утримуючих у складі молекул 20...60 атомів вуглецю, а також гетероорганічних з'єднань (утримуючих кисень, сірку, азот і деякі метали). Ці масла мають індекс в'язкості приблизно 90...100 одиниць.

– деасфальтизація проводиться для видалення з високов'язкого залишку після вакуумної перегонки асфальтенов – високомолекулярних продуктів, що викликають підвищене нагаро- і лакоутворення при роботі олій. Очищена масляна фракція (деасфальтизат) використовується як компонент базових масел.

– депарафінізація служить для видалення з дистилятів і деасфальтизатів високоплавких парафінов, що підвищують температуру загустіння масел.

Процеси виробництва та очищення базових масел можуть комбінуватися різними способами. Типова технологічна схема виробництва масла приведена на рис. 2.3.



## Мастильні матеріали та їх властивості

*Таблиця 2.2*

Бажані і небажані компоненти базових масел

| <b>Компоненти нафтових базових масел</b>                            |  |
|---|--|
| <b>бажані</b>   | <b>небажані</b>                        |
| Ізопарафінові вуглеводні  | Тверді парафінові вуглеводні           |
| Нафтово-парафінові вуглеводи  | Поліциклічні ароматичні вуглеводні     |
| Моно і біциклічні ароматичні вуглеводні з довгими бічними ланцюгами | Смолисті й асфальто-смолисті з'єднання |
|   | Неграничні вуглеводні                  |
|   | Елементоорганічні з'єднання            |

Розробка синтетичних масел почалася ще наприкінці ХІХ століття, а на початку 20-х років ХХ століття вони вже випускалися промисловістю. До цього ж часу відносяться і перші спроби їх використання в мастилах. Проте, їх широке використання почалося в останні три десятиліття. Синтетичні базові масла перевершують нафтові за низькотемпературними характеристиками, термічній стабільності і стійкості до окислювання (табл. 2.3), але уступають їм за вартістю.

*Таблиця 2.3*

Порівняння (у балах) властивостей нафтових і синтетичних основ, використовуваних як базові масла

| Властивості                           | Нафтоносне масло | Полеолефіни | Діалкіл-бензоли | Дікарбонових кислот | Поліолових кислот | Пмасластилабоенгліколь | Сілікони | Ефіри          |                   |                    |
|---------------------------------------|------------------|-------------|-----------------|---------------------|-------------------|------------------------|----------|----------------|-------------------|--------------------|
|                                       |                  |             |                 |                     |                   |                        |          | Пмаслафінілові | Фосфорної кислоти | Кремнієвої кислоти |
| 1                                     | 2                | 3           | 4               | 5                   | 6                 | 7                      | 8        | 9              | 10                | 11                 |
| В'язкісно-температурна характеристика | 3                | 4           | 3               | 4-5                 | 4                 | 4                      | 5        | 2              | 3-4               | 5                  |

| <i>Продовження табл. 2.3.</i>                      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1  | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  |
| Рухливість при низьких температурах                | 2   | 4   | 4   | 4   | 4   | 4   | 4   | 0   | 3   | 3   |
| Схильність до невивпару                            | 3   | 4-5 | 4   | 4-5 | 4-5 | 3-4 | 4-5 | 5   | 4   | 4   |
| Термостабільність                                  | 3   | 4   | 4   | 3-4 | 4   | 2   | 4   | 5   | 2   | 3   |
| Антиокислювальні властивості                       | 3   | 4   | 3   | 4   | 4   | 3   | 4-5 | 5   | 3   | 4   |
| Термоокислювальна стабільність (з антиокислювачем) | 3   | 4-5 | 4-5 | 4-5 | 5   | 4   | 4-5 | 5   | 3   | 4   |
| Антикорозійні властивості (з інгібітором)          | 5   | 5   | 5   | 3-4 | 3-4 | 4   | 4   | 4   | 3   | 4   |
| Приємістість до присадок                           | 4-5 | 4-5 | 4-5 | 4-5 | 4   | 3-4 | 2   | 2   | 4   | 4   |
| Гідромалятична стабільність                        | 5   | 5   | 5   | 3-4 | 4   | 4   | 3-4 | 5   | 3   | 2   |
| Сумісність з нафтовими маслами                     | 5   | 5   | 5   | 4   | 3-4 | 2   | 2   | 2   | 3   | 3-4 |
| Протизносні властивості                            | 4   | 4   | 4   | 4-5 | 4   | 4   | 2   | 4-5 | 5   | 2   |
| Теплопровідність                                   | 4   | 4   | 4   | 5   | 5   | 5   | 3   | 5   | 4   | 4   |
| Стійкість до запалення                             | 1   | 2   | 2   | 2-3 | 2-3 | 2   | 3-4 | 3   | 4-5 | 3   |
| Індиферентність до ущільнювальних матеріалів       | 4   | 5   | 3-4 | 3   | 2-3 | 4   | 4   | 4   | 2   | 3-4 |

Напівсинтетичні базові масла одержують, як правило, шляхом змішання синтетичних і нафтових компонентів, що дозволяє одержувати продукти, що сполучають у собі високі екс-

## Мастильні матеріали та їх властивості

платуаційні характеристики мастил, що перевершують нафтові, і помірну їхню вартість.

В Україні синтетичні базові масла не виробляються. Перелік синтетичних масел, що випускаються підприємствами Російської Федерації приведені в таблиці 2.4.

*Таблиця 2.4*

Синтетичні базові масла, що випускаються підприємствами

| Тип олій                            | Марка                | Склад                                     | Нормативний документ |
|-------------------------------------|----------------------|---|----------------------|
| 1                                   | 2                    | 3   | 4                    |
| Пмасла-альфаолефінові               | М-9С (ПАОМ-9)        | Поліальфаолефінове масло                  | ТУ 38.401269-82      |
|                                     | ПАОМ-20              | Поліальфаолефінові масла                  | ТУ 38.401-58-42-2    |
| Складні ефіри джарбонових кислот    | ДОС-Т                | Диоктилсебацінат (термостійкий)           | ДСТ 8728-88          |
|                                     | ДОС                  | Диоктилсебацінат (пластифікатор)          | ТУ 6-06-11-88        |
| Ефіри фосфорної кислоти             | ТБФ                  | Трибутилфосфат                            | ТУ 6-02-733-84       |
|                                     | ТКФ                  | Трикрезилфосфат                           | ДСТ 5728-76          |
|                                     | ДБФФ                 | Дибутилфенілфосфат                        | ТУ 6-02-985-81       |
|                                     | ДФИБФФ               | Дифеніл-п-трет-бутилфенілфосфат           | ТУ 6-06-241-92       |
|                                     | Турбінне масло ОМТИ  | Триксиленілфосфат                         | ТУ 6-25-12-75        |
| Складні ефіри неопентилових спиртів | Ефір Mg <sub>2</sub> | Складний ефір пентаеритрита               | СТП УфНПЗ 4-155-83   |
|                                     | ПЭТ-М                | Складний ефір пентаеритрита (для масел)   | ТУ 38.401567-86      |
|                                     | ПЭТ                  | Складний ефір пентаэритрита (для змащень) | ТУ 1011027-85        |

| <i>Продовження табл. 2.4.</i> |                             |  |                     |
|-------------------------------|-----------------------------|--|---------------------|
| 1                             | 2                           | 3  | 4                   |
| Поліорганосилоксани           | ХС-2-1                      | Поліметил (дихлорфеніл) силоксан                   | ТУ 6-02-804         |
|                               | 162-170ВВ<br>(ХС-2-1-ВВ)    | Поліорганосилоксан                                 | ТУ 6-02-824-78      |
|                               | ФСТ-5                       | Суміш поліітвив<br>(у-трифторпропил)<br>силоксанів | ТУ 6-02-910-74      |
|                               | Пмс-юорр-вв<br>(131-117Рвв) | Поліметилсилоксан                                  | ТУ<br>6-02-1-284-76 |
|                               | ПМС-20р                     | Суміш<br>маслагометилсилоксанів                    | ТУ 6-02-1259-84     |
|                               | Рідина №7                   | Суміш поліетилсилоксанов                           | ДСТ 25149-82        |
|                               | ПЭС-4                       | Поліетилсилоксан                                   | ДСТ 1300-77         |

Особливе місце займають базові масла, отримані з використанням технології гідрокрекінгу (НС - синтез) нафтових масляних фракцій. У цьому процесі вуглеводні всіх груп і з'єднання всіх класів під дією водню (гідрообробки) у присутності специфічних катализаторів при підвищених температурах (360...420°C) і тисках (10...20 МПа) піддаються глибоким перетворенням.

Застосування процесу гідрокрекінгу дозволяє забезпечити необхідну якість масла не за рахунок видалення небажаних компонентів, як це прийнято в традиційних процесах, а за рахунок хімічного перетворення небажаних компонентів у бажані. Сировиною для одержання масел служать висококип'ячі дистиляти і деасфальтизатори, що є складними сумішами вуглеців різних груп, гетероз'єднань (утримуючих атомів сірки, азоту, кисню та інших елементів), а також високомолекулярних з'єднань (сммастів, асфальтенів). Як приклад у табл. 2.5 приведені дані про груповий склад сировини і продукту гідрокрекінгу. З приведених даних видно, що зміст конденсованих вуглеводнів знизився приблизно в два рази і продукт гідрокрекінгу приблизно на 70% складається з неконденсованих

## Мастильні матеріали та їх властивості

з'єднань. В результаті значно зростає індекс в'язкості, про що свідчать дані, приведені на рис. 2.4. При переробці парафінистої сировини відбувається ізомеризація парафінових вуглеводнів, що також сприяє поліпшенню в'язкісних властивостей продуктів.

*Таблиця 2.5*

Групові склади сировини і продукту гідрокрекінгу

| Груповий склад                      | Вміст, % мол. |            |
|-------------------------------------|---------------|------------|
|                                     | в сировині    | в продукті |
| Алкани                              | 1,0           | 4,1        |
| Циклоалкани:                        |               |            |
| неконденсовані                      | 32,7          | 67,7       |
| конденсовані                        | 19,7          | 26,5       |
| Ароматичні моноциклічні вуглеводні: |               |            |
| - неконденсовані                    | 12,6          | 1,5        |
| - конденсовані                      | 29,2          | 0,2        |
| Бензтиофени                         | 1,9           | 0          |
| Дибензтиофени                       | 1,7           | 0          |
| Нафтобензтиофени                    | 1,1           | 0          |
| Всього конденсованих з'єднань       | 53,7          | 26,7       |

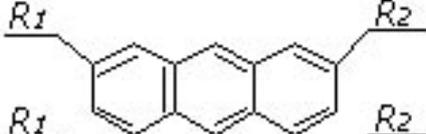
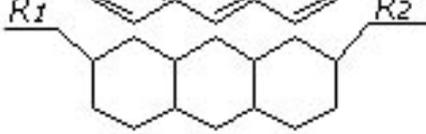
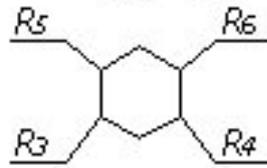
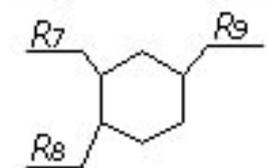
| Тип вуглеводнів   | Індекс в'язкості |
|---|------------------|
|  | 60               |
|  | 20               |
|  | 125-140          |
|  | 125-140          |

Рис 2.4. Взаємозв'язок структури вуглеводнів з індексом в'язкості масла

За своїми експлуатаційними характеристиками масла, отримані з використанням продуктів гідрокрекінгу, не поступаються традиційним синтетичним і напівсинтетичним маслами, але мають більш низьку ціну. В залежності від складу базові масла, отримані з використанням технології гідрокрекінгу, відносять до синтетичного або напівсинтетичного типів.

Американський інститут нафти (API) класифікує масла за трьома показниками – індексу в'язкості, вмісту сірки, масовій частці нафтенно-парафинових вуглеводнів (табл. 2.6).

Загальноприйняті специфікації на базові масла відсутні. Багато фахівців вважають, що в зв'язку з різноманіттям та суперечливістю вимог, які пред'являються до базових масел, однакових вимог до їх якості, придатних для виробництва всього асортименту товарних масел, сформульовано бути не може.

Таблиця 2.6

Класифікація базових масла за АРІ

| Група | Вміст парафіно-нафтових вуглеводнів, % мас. | Вміст сірки, % мас. | Індекс в'язкості | Тип базового масла                                       |
|-------|---|---------------------|------------------|--|
| I     | < 90  | > 0,03              | 80-120           | масла селективного очищення                              |
| II    | ≥ 90  | ≤ 0,03              | 80-120           | масла гідроочищення                                      |
| III   | ≥ 90  | ≤ 0,03              | ≥ 120            | високо індексні масла                                    |
| IV    | -   | -                   | -                | поліальфаолефінові масла                                 |
| V     | -   | -                   | -                | Інші базові масла, що не ввійшли в групи I, II, III і IV |

У країнах СНД як компоненти базових масел використовують деякі спеціальні нафтові масляні фракції (ТУ 38.101523-80, ТУ 38.1011261-89, ТУ 38.101355-73, ТУ 38.401-58-166-95, ТУ 38.401-58-167-96, ТУ 38.401117-91, ТУ 38.301-13-007-98, ТУ 38.301-20-23-90, ТУ 38.301-29-48-95, ТУ 38.301-29-27-89), індустриальні масла загального призначення без присадок (ТУ 38.101413-97) і трансмісійні масла без присадок (ТУ 38.101529-75, ТУ 38.101110-86). Деякі нафтопереробні заводи виробляють компоненти базових масел для власних потреб за стандартами підприємств.

## 2.2. Функціональні добавки до масел

В процесі роботи машин і механізмів відбувається зношування сполучених пар. Інтенсивність зношування і сила тертя

---

---

залежать від цілого ряду факторів, обумовлених режимом тертя (температура, вологість і т.п.), а також складом і властивостями мастильних матеріалів, що застосовуються. Однак останні в процесі роботи (в залежності від умов експлуатації) самі перетерплюють значні перетворення, що виражаються у зміні їх хімічного складу. Ці зміни, в свою чергу, впливають на протизносні та антифрикційні властивості. Більшість мастильних матеріалів піддається окислюванню, в результаті якого в системі відбувається нагромадження кисневоутримуючих з'єднань, які при визначеному вмісті можуть поліпшувати протизносні властивості масел. Однак нагромадження їх в маслах в значній кількості (і особливо низькомолекулярних кислот) небажано, тому що різко підсилюється корозія і зношування тертьових пар.

З метою запобігання зміни складу і властивостей мастильних матеріалів і поліпшення їх експлуатаційних характеристик більшість масел і мастил містять різні добавки. Маслорозчинні добавки органічного походження одержали назву присадки. Тверді нерозчинні речовини, як правило, неорганічного походження називають наповнювачами або антифрикційними добавками. Вводять їх у мастила в значних кількостях, більших за присадки (до 20...30% проти 2...5% відповідно).

Присадки підвищують стабільність масел проти окислювання, регулюють їх в'язкість і зменшують залежність в'язкості від температури, знижують температуру застигання, поліпшують триботехнічні властивості (знижують тертя і знос, запобігають схоплювання і задирам), захищають метали від корозії, перешкоджають відкладенню нагарів на деталях двигунів внутрішнього згоряння, перешкоджають емульгуванню води в маслах і спінюванню останніх. За функціональним призначенням присадки розділяють на антиокисні, в'язкостні, миючо-диспергуючі, антифрикційні, протизносні, депрессорні, протипінні та інші.

Присадки вводять в масла в порівняно невеликих кількостях: від долів відсотка до декількох відсотків (у композиціях їх загальна концентрація може доходити до 15% і більш).

Виключення складають в'язкостні присадки, що можуть додаватися до 20...30% і більш, будучи в цьому випадку в більшому ступені компонентом масла, ніж присадкою. Більшість присадок поверхнево-активні речовини. Їх молекули складаються з однієї або декількох полярних груп йодної або декількох неполярних. До складу полярних груп входять атоми кисню, сірки, галогенів, фосфору, азоту або бору. Може бути присутнім один з цих атомів або тимчасово два-три.

Більшість присадок незалежно від свого функціонального призначення тією чи іншою мірою впливають на антифрикційні і протизносні властивості мастильних матеріалів. Цей вплив може виявлятися безпосередньо (прямий ефект) або через процеси, що протікають в маслі (побічний ефект). Так, антиокисні присадки знижують нагромадження в маслі продуктів окислення, що є поверхнево-активними речовинами.

За характером взаємодії з металом антиокисні присадки умовно поділяють на деактиватори і пасиватори. Деактиватори запобігають або знижують каталітичну дію з'єднань металів, що накопичуються в маслі. Пасиватори утворюють нерозчинну плівку на поверхні металу. Ця плівка блокує його поверхню від корозійної дії середовища (пасивує поверхню металу). Детергенти виявляють ефект власне миючої дії внаслідок утворення на поверхні металу подвійного електричного шару. Останній істотно впливає на тертя і знос. Вплив зольних миючих присадок підсилюється в зв'язку з тим, що вони вводяться в масла в значній кількості (3...5% і більше). Дисперсанти також впливають на протизносні та антифрикційні властивості внаслідок своєї високої поверхневої активності.

Зниження корозійної активності мастильного середовища досягається шляхом підвищення антиокисних властивостей масла, а також додаванням до масел спеціальних антикорозійних присадок. Їх механізм заснований на хімосорбційній взаємодії з металом. При цьому поверхня металу захищається від дії навколишнього середовища та одночасно знижується каталітична дія металу на окислювання компонентів масла. Інтенсифікація

атмосферної корозії, особливо у вологому середовищі, а отже, і зносу спряжених пар запобігається або зводиться до мінімуму введенням в масло інгібіторів корозії.

Підвищення в'язкості масла, у тому числі і шляхом його загущення в'язкостними (полімерними) присадками, знижує знос внаслідок переходу від граничного до еластогідродинамічного мащення.

В табл.2.7 приведені марки і хімічна назва присадок, найбільше широко використовуваних в маслах.

Таблиця 2.7

Марки деяких функціональних присадок до мастил

| Присадка   | Хімічна назва   |
|--|---|
| 1  | 2   |
| <i>Антиокисні</i>  |   |
| Іонол<br>Агидол-2<br><br>ВНИИНП-354<br>ДФ-11<br>ДФ-1<br>ИХП-21         | 4-метил-2,6-ди-третбутилфенол<br>2,біса-біса-2-метилен-біс-(4-метил-6-третбутилфенол)<br>Ди(алкилфенил)дитиофосфат цинку<br>Диалкилдитиофосфат цинку<br>Диалкилдитиофосфат барію<br>Барієва сіль продукту конденсації алкилфенол з формальдегідом і аміаком, обробленого п'яти сірчистим фосфором |
| <i>Миюче-диспергуючі детергенти (зольні)</i>                           |   |
| МАСК<br><br>АСК<br>АСБ<br>С-150; ПМС«А»;<br>Пмся<br>БФКУ<br>ЦИАТИМ-339 | Колоїдна дисперсія карбонату кальцію алкилсалицилатом кальцію<br>Алкилсалицилат кальцію<br>Алкилсалицилат барію<br>Колоїдна дисперсія карбонату кальцію, сульфонатом кальцію<br>Барієва сіль ди(оксиалкилфенил)метану<br>Нейтральна барієва сіль алкилфенол сульфїду                              |

## Мастильні матеріали та їх властивості

| <i>Продовження табл. 2.7.</i>                         |   |
|---|---|
| 1   | 2   |
| <b><i>Дисперсанти (беззольні)</i></b>                 |   |
| Днепрол<br><br>С-5А                                   | Модифікована підстава Манніха<br>маслаізобути-ленфенола і<br>пмаслаэтиленпмаслаамина<br>Сукцинимид (імідопохідні бурштинової<br>кислоти)  |
| <b><i>Інгібітори корозії</i></b>                      |   |
| АКОР-1<br><br>ЦИМ                                     | Очищений-очищені-селективно-очищені<br>нітрованні масла<br>Сукцинимид сечовини  |
| <b><i>В'язкістні</i></b>                              |   |
| ПМА «У-1»;<br>ПМА «У-2»<br>КП-10                      | Масламетакрилати<br><br>Поліізобутилен  |
| <b><i>Депрессори</i></b>                              |   |
| АзНИИ-ЦИАТИМ-1<br>АФК ПМА «Д»                         | Барієва сіль бисульфідалкилфенола<br>Кальцієва сіль алкилфенола масламетакрилат   |
| <b><i>Протизносні і противозадирні</i></b>            |   |
| АБЭС<br>КИНХ-2<br>ЛЗ-23до                             | Бісалкілбензилтиоетан<br>Масласульфінрованні поліізобутилен<br>Діізопропилксантогенат етилена   |
| ОТП<br>Хлорэф-40<br><br>ЭФО<br><br>ЛЗ-309/2; ЛЗ-318 - | Осірчанені тетрамери пропілена ПРО,<br>О-Дибутіловий ефір<br>трихлорметилфосфоновой кислоти,<br>Цинкобарієва сіль ізобутилового ефіру<br>арилдитиофосфорной кислоти<br>Трихлорпентилдизопропілдитиофосфат |

*Примітка.* Віднесення деяких присадок до відповідної групи за функціональним призначенням є певною мірою умовним. Наприклад, дитиофосфати цинку володіють не тільки антиокисною, але і протизносною дією.

---

---

Антиокисні присадки поділяють на беззольні (які не містять металів у своєму складі) і зольні (до складу яких входить метал). До числа беззольних присадок відносять з'єднання фенольного й аміного типу. Широко розповсюдженою зольною антиокисною присадкою є дитиофосфати різних металів. Найбільше поширення серед них одержали дитиофосфати цинку. Дитиофосфати металів виконують також функції протизносних і антикорозійних присадок. Для зниження корозійної агресивності масел стосовно міді і її сплавів при високих робочих температурах застосовують бензотриазол і його похідні, стосовно свинцю – пропіловий ефір галлової кислоти.

В якості миюче-диспергуючих присадок, які застосовуються в основному в моторних маслах, використовують з'єднання, що володіють детергентною і диспергуючою дією. До найбільш розповсюджених детергентів відносять сульфонати і саліцилати металів (зольні детергенти), переважно кальцію і барію. Крім сульфонатів і саліцилатів, знайшли застосування також феноляти металів. У якості диспергуючих присадок, або дисперсантів, використовують в основному беззольні з'єднання – сукцинимиди різної будови.

В якості протизносних і протизадирних присадок до мастильних матеріалів (див. табл. 2.7) використовують сіро-, фосфор-, хлормісткі з'єднання (сульфіди, полісульфіди, ксантогенати, фосфати, дитиофосфати тощо). Роль в'язкісних присадок виконують поліізобутилені, поліметакрилати і сополімери різної молекулярної маси.

При твердих режимах експлуатації пластичних змащень, незважаючи на значний вміст у них ПАР, поверхневої активності мил – найбільш розповсюдженого типу згущувача – виявляється недостатньо для утворення на металі міцного і стійкого граничного шару. У таких випадках триботехнічні властивості найбільше істотно можна поліпшити введенням у пластичні мастила речовин адсорбційно і хімічно більш активних, ніж згущувачів.

Такими речовинами є протизносні і протизадирні присадки. Протизносні присадки не допускають прогресуючого зносу металу при високих навантаженнях і температурах, а протиза-

дирні –відвертають заїдання і задири, зменшують руйнування поверхні при підвищених навантаженнях. Антифрикційні присадки, що стабілізують процес тертя, у масла, як правило, не вводять, оскільки їх антифрикційні властивості і так досить гарні.

У маслах використовують переважно протизносні і проти-задирні присадки, призначені для масел. Присадки, що містять активні елементи сірку, хлор і фосфор, як правило, погіршують мастило, колоїдну, термічну і механічну стабільність. Виключення складають осірчені жири (бавовняне і касторове масло, кашалотовий жир) і присадка КИНХ-2. Вітчизняна промисловість випускає більше десяти антифрикційних пластичних мастил, що містять протизносні і протизадирні присадки.

Для присадок характерно значна зміна ефективності дії в залежності від їх концентрації, а також від складу, властивостей, умов виробництва і застосування мастильних матеріалів.

У загальному випадку при підборі присадок до пластичних мастил, крім властивостей самої присадки (наявність домішок, змін в умовах збереження й ін.), варто враховувати:

- 1) хімічний склад дисперсійного середовища;
- 2) тип і концентрацію загущувача, а у випадку мильних загущувачів – склад жирової сировини і луг, які для цього використовуються;
- 3) реакцію мащення (лужну або кислу), в залежності від якої рекомендуються присадки різних типів;
- 4) сумісність з іншими функціональними добавками (модифікаторами структури, присадками і наповнювачами), що присутні у мастилах;
- 5) технологію виробництва мастил і спосіб введення присадки;
- 6) умови експлуатації мастил (температуру, навантаження, контакт із різними металами, тривалість роботи тощо).

Наповнювачі (антифрикційні добавки). Наповнювачі – це тверді високодисперсні речовини, як правило, неорганічного походження (виключення складають порошкоподібні полімери). Вони практично не розчиняються в дисперсійному середовищі і

утворюють в мастильних матеріалах самостійну тверду фазу: розмір часток наповнювачів, як правило, складає 1...20 мкм. Найбільше поширення одержали шаруваті наповнювачі кристалічної структури: графіт, дисульфід молібдену, нітрид бора, слюда, тальк, вермикуліт та деякі сульфіді, селеніди і іодіди металів, а також високодисперсні порошки металів і їх оксиди (табл. 2.8).

Таблиця 2.8

Характеристика наповнювачів

| Показники властивостей                                 | Графіт            | Дисульфід молібдену | Слюда       | ПТФЕ                          |
|--|-------------------|---------------------|-------------|-------------------------------|
| Щільність, кг/м <sup>3</sup>                           | 1500...2000       | 4800...5000         | 2300...2800 | 2100...2300                   |
| Твердість (за Моосом)                                  | 1,0...2,0         | 1,0...1,5           | 2,3...2,8   | 55 (за Шором)                 |
| Температура плавлення, °С                              | 3000...3500       | 1300...1500         | 1200...1400 | —                             |
| Термічна стабільність (на повітрі), °С                 | 600               | 300...400           | 600...900   | —                             |
| Продукти окислювання                                   | C, C <sub>2</sub> | MoO <sub>3</sub>    | —           | C <sub>2</sub> F <sub>4</sub> |
| Максимальна температура застосування (на повітрі), °С: |                   |                     |             |                               |
| - постійна   | 420...430         | 340...350           | —           | 250...270                     |
| - короткочасна   | 535...550         | 390...400           | —           | 310...315                     |
| Хімічна стійкість                                      | Відмінна          | Гарна               | Задовільна  | Відмінна                      |
| Коефіцієнт тертя:                                      |                   |                     |             |                               |
| - у вакуумі  | 0,07...0,12       | 0,05...0,09         | 0,15...0,35 | 0,06...0,08                   |
| - при низьких температурах (рідкий азот)               | 0,7...0,9         | 0,5...0,7           | —           | 0,02...0,05                   |

Наповнювачі відрізняються від згущувачів істотно меншою згущувальною здатністю, однак границя між окремими неорганічними згущувачами і наповнювачами з високою поверхневою активністю не завжди чітко виражена. Ті самі продукти в залежності від їх дисперсності, поверхневої активності, концентрації і технології введення можуть бути віднесені як до наповнювачів, так і до згущувачів. Наприклад, дисульфід молібдену  $\text{MO}_2$  при високій концентрації (40...60%) і інтенсивному механічному впливі утворює у рідких середовищах структуровані системи-пасти, за своїми властивостями близькі до пластичних мастил. Той же продукт у малих кількостях (1...5%) поводить ся в мастилах і маслах як наповнювач (антифрикційна добавка). Таким чином, наповнювач відрізняється від згущувачів і присадок складом і фізичним станом.

Порошкоподібні наповнювачі дозволяють досить ефективно поліпшувати властивості мастильних матеріалів. Хоча наповнювач і є лише добавкою, кількість його може коливатися в широких межах, що визначається цілями його введення в мастильний матеріал.

Наповнювачі класифікують за наступними ознаками: за походженням – на природні і синтетичні, за складом – на неорганічні (мінеральні) і органічні, за впливом на структуру мастил – на інертні і активні, за функціональною дією – на поліпшуючі мастильну здатність, герметизуючу і захисну здатність, а також ряд інших властивостей мастил (тепло- і електропровідність і ін.).

Структура і механічні властивості наповнювачів значною мірою визначають їх експлуатаційні властивості. Серед наповнювачів, які застосовуються у мастилах можна виділити кристалічні продукти, що мають шарувату (оксиди металів) і атомарну (порошки металів) будівлю, а також тверді аморфні тіла (деякі силікати і полімери).

Властивості наповнювачів характеризуються також рядом показників, загальних для всіх мастильних матеріалів: мастильною здатністю (триботехнічними характеристиками), хімічною

---

---

стабільністю, корозійною агресивністю і захисною здатністю, визначальною є їх вологість, кислотністю (лужністю) тощо.

Висока мастильна здатність – одна з основних причин введення наповнювачів у мастила. Найбільше поширення одержали наповнювачі, що володіють кристалічною шаруватою структурою, яка забезпечує низькі коефіцієнти тертя - це графіт і дисульфід молібдену.

Мінімальна масова частка наповнювачів, необхідна для помітного поліпшення триботехнічних властивостей мастил, складає 1...3%. Однак в ущільнювальних мастилах кількість наповнювачів може досягати 10...20% і більше. Протизносні та протизадирні присадки вводять у мастило у кількості не більше 5%, що лімітується їхньою розміцнюючою дією на структуру мастила. Значно поліпшується мастильна здатність при використанні в якості наповнювачів порошків різних металів, їх оксидів і солей. Мастила із зазначеними добавками на поверхні тертя утворюють шар з м'якого металу, який плакує і тому їх називають металоплакуючими. Формування на поверхні тертя металоплакуючої плівки, яка володіє високою контактною міцністю і пластичністю, гарною теплопровідністю, при низьких швидкостях збільшує фактичну площу контакту, знижує коефіцієнт тертя і знос, охороняє поверхні від захоплення.

Відмінною рисою наповнювачів є те, що ефективність їх дії найбільше чітко виявляється в екстремальних умовах застосування мастил. Міцність структури мастил впливає на ефективність дії наповнювачів. У високоміцних мастилах наповнювачі утримуються структурою і не надходять у зону тертя. Так, введення  $\text{MO}_2$  у літєве мастило з метою зниження фреттинг-корозії виявилось неефективним у випадку міцних мастил і привело до істотного ефекту при зменшенні межі міцності мастил.

Перевагою наповнювачів у порівнянні з присадками є те, що ефект їх дії виявляється як при низьких, так і при високих температурах, у той час як для ефективної дії присадок звичайно необхідні підвищені температури.

### 2.3. В'язкість і в'язкісно-температурні властивості масел

В'язкість є одним з важливих показників якості масла. За в'язкістю оцінюють придатність масла для даного двигуна в залежності від конструкції, технічного стану, сезонності, умов експлуатації та ін. В'язкість входить до маркування масла у вигляді цифрового індексу, наприклад М-8В<sub>1</sub>, М-10Г<sub>2</sub>. Цифра „8”, „10” означають значення в'язкості при 100°C в мм<sup>2</sup>/с. В'язкість масла відображають в одиницях кінематичної в'язкості за ГОСТ 33-82, її визначають на різних віскозиметрах. Від в'язкості масла залежить величина втрат потужності на тертя, надійність роботи деталей, що труться, їх знос, легкість пуску двигуна, охолодження деталей, видалення продуктів зносу з зони тертя, витрата масла на угар, витрата палива тощо.

Більшість дослідників вважають, що найбільші зноси – пускові; на них приходиться біля 2/3 загальних зносів. На рис. 2.5 показана залежність зносу двигуна під час пуску від в'язкості масла. Масло зниженої в'язкості при низьких температурах швидше надходить до поверхонь, що труться, зменшуються пускові зноси.

Масло в підшипнику виконує дві функції – охолодження та змащування. Без достатньої кількості масла при поганій циркуляції його в масляній системі підшипники швидше перегріваються та виходять з ладу. Недолік масла може бути через низький тиск масла в системі або при недостатній кількості масла, що подається до підшипника. Низький тиск масла викликаний зносом корінних і шатунних підшипників колінчастого вала, при використанні масла дуже низької в'язкості, в тому числі при великому розрідженні масла паливом яке не згоріло, несправністю масляних насосів, ослабленням чи зламом пружини клапанів.

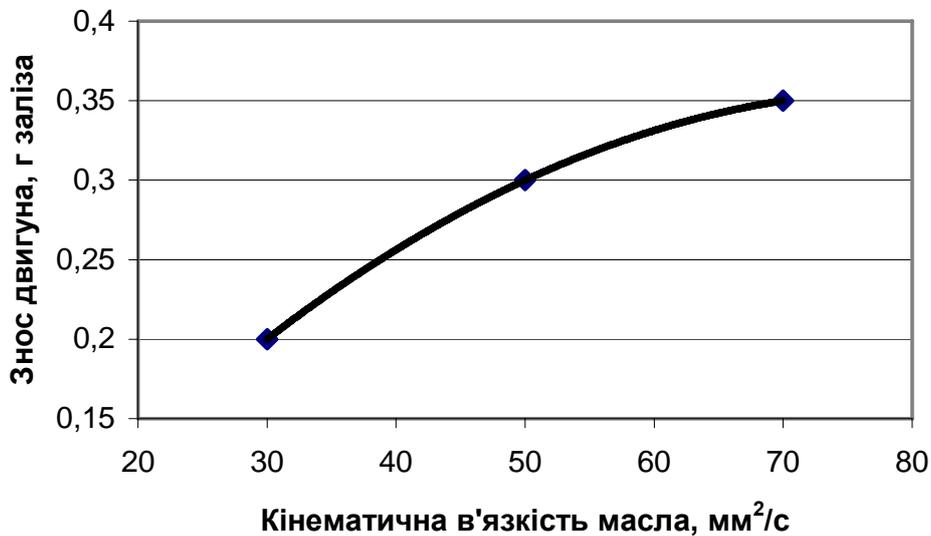


Рис. 2.5. Залежність зносу бензинового двигуна в момент пуску від в'язкості масла

Незадовільна циркуляція масла може бути викликана поганим технічним станом масляної системи, недостатньою кількістю масла в картері. Н.П. Петров встановив, що товщина масляного шару в підшипнику залежить від в'язкості масла, частоти обертання колінчастого вала, навантаження на підшипник, форми і стану поверхонь тертя. При обертанні колінчастого валу між ним і підшипником утворюється масляний клин. Під тиском цього клину вал „впливає” в підшипнику. При цьому вал не торкається стінок підшипника і тертя між металевими поверхнями немає. Чим вище в'язкість масла і частота обертання вала, тим товщі шар масла між валом і підшипником. Однак тут спостерігається і деяке протиріччя. З одного боку, підвищення в'язкості і частоти обертання колінчастого вала сприяє рідинному тертю, збільшенню несучої здатності масляного шару. З другого боку, підвищення в'язкості масла викликає втрати потужності на внутрішнє тертя. Це протиріччя може бути усунено підбором масла відповідної в'язкості.

Із збільшенням зазору в підшипнику і навантаженні на вал в'язкість масла повинна бути вище - для створення рідинного тертя.

Залежно від умов експлуатації двигуна, його вузлів і механізмів температурний режим масел може змінюватись в значних інтервалах, а залежно від цього змінюватися і їх в'язкість. При високих температурах масла розріджуються, а при охолодженні густіють, або взагалі втрачають рухомість. Так при зниженні температури моторних масел від 100°C до 50°C в'язкість може збільшуватись в кілька разів. В умовах мінусових температур в'язкість масла збільшується в сотні та тисячі разів. Тому при оцінці якості масел велике значення надають функціональній залежності їх в'язкості від температури.

Характер зміни в'язкості залежно від температури неоднаковий для масел з різної сировини, різних засобів одержання та складу. Чим менша в'язкість змінюється з підвищенням або зниженням температури, тим краще масло поводить ся в експлуатації. Тому досить важливою є оцінка змащувальних здатностей масел за в'язкісно-температурними властивостями.

У міжнародній практиці для оцінки в'язкісно-температурної характеристики масел прийнято кількісний критерій, що називається індексом в'язкості ІВ. Індекс в'язкості є умовним показником, який визначають порівнянням досліджуваного масла з двома еталонними, в'язкісно-температурні властивості одного з яких прийняті за 0, а другого за 100 одиниць. Чим вищий ІВ, тим більш полого в'язкісно-температурна характеристика і тим краще масло для експлуатації в різні періоди року.

### **2.4. Хімічна стабільність та миючі властивості масел**

В процесі експлуатації змінюються хімічний склад і властивості масел. Стійкість масел проти окислювання киснем повітря (хімічна стабільність) є одним з найважливіших параметрів, що визначають поведінку масла у вузлах тертя при експлуатації, лімітують термін його служби тощо. В процесі роботи в

маслі утворюються з'єднання, розчинні і нерозчинні. В результаті окислювання масла утворюються лакові та вуглисті відкладення, низькотемпературні відкладення, органічні кислоти й інші продукти. Усе це погіршує якість масел, а також порушує нормальну роботу двигуна. Глибокі зміни якості масел викликають необхідність їх заміни.

Швидкість окислювання масла залежить від його хімічного складу, умов експлуатації, технічного стану двигуна, якості палива, охолоджувальної рідини та інших факторів. В результаті правильного вибору масла, своєчасного контролю за технічним станом масляної системи автомобіля збільшується термін служби масла, скорочується витрата палива.

Окислювання масел може здійснюватися за двома основними напрямками, з утворенням нейтральних або кислих продуктів. До нейтральних з'єднань відносяться спирти, складні ефіри, альдегіди, кетони, асфальтени тощо. Спирти і складні ефіри не здійснюють негативного впливу на властивості масла. Альдегіди і кетони можуть утворювати продукти конденсації, в результаті чого з'являються низькотемпературні відкладення, які можуть збільшити в'язкість масла. До кислих продуктів, які утворюються при окисленні масла, відносяться органічні кислоти, кето- і оксікислоти, фенмасла. Утворення кислот – один з основних напрямків реакції окислювання вуглеводів масла. Поряд з високомолекулярними кислотами (число атомів вуглецю в молекулі до 22), у продуктах окислювання можуть зустрічатися низькомолекулярні кислоти - мурашина, оцтова, пропіонова, масляна і т ін. Низькомолекулярні кислоти, активно діючи на метали, викликають їх корозію. Продуктами глибокого окислювання масел є асфальтени, карбени, карбоїди тощо.

На окислюваність масел впливають температура, поверхня контакту з повітрям (поверхня окислювання), каталітична дія деяких металів, присутність кисню повітря, води, старих продуктів окислювання. Однак основним фактором є температура. Під дією високих температур масло піддається інтенсивному окислюванню, полімеризації, конденсації, розкладанню, коксу-

## Мастильні матеріали та їх властивості

ванню. Моторні масла додатково піддаються дії нагрітих газів, що прориваються з камери згоряння в масляний картер. Відповідно до правила Вант-Гоффа, підвищення температури на 10°C прискорює реакцію окислення в 2...3 рази. З таблиці 2.9 видно, що для окислювання масла до однакової глибини при температурі 150°C необхідно в 1700 разів менше часу, чим при температурі 50°C.

*Таблиця 2.9*

Вплив температури масла на процес його окислювання

| Температура, °C       | 50    | 70   | 105  | 120 | 150 |
|-----------------------|-------|------|------|-----|-----|
| Час до появи осаду, ч | 10200 | 3300 | 1073 | 137 | 6   |

При роботі в двигуні масла піддаються впливу високих температур, наприклад, у картері до 110 – 140°C, у зоні першого поршневого кільця до 2200 – 2300°C, а в ряді випадків до 3000 – 3300°C і більше. Підвищенню теплової напруженості деталей двигуна сприяє застосування систем охолодження двигуна з використанням всесезонних охолоджувальних рідин (антифризів). Температура масла в картері збільшується з підвищенням температури навколишнього повітря, збільшенням швидкості руху, навантаження. Так, із збільшенням швидкості легкового автомобіля з 80 до 144 км/год температура масла в картері підвищується від 110 до 130°C, при русі автомобіля з причепом температура масла зростає від 120 до 160 °C при зміні швидкості руху з 80 до 144 км/ч.

Найбільш інтенсивна окислюваність масла відбувається перші 100...150 годин роботи. На початковій стадії утворюються головним чином продукти розщеплення пероксидів (кислоти, альдегіди, кетони та інші речовини), потім продукти більш глибокого окислювання; які випадають в осад. При температурах до 300°C в основному протікають реакції окислювання, при більш високих температурах спостерігається термічний

крекінг – розщеплення вуглеводнів масла. При цьому процеси протікають дуже інтенсивно і глибоко. Підвищення тиску повітря, площі зіткнення з ним прискорює окислювання масла. У камері згоряння масло піддається впливу кисню і температури до 2000 °С. Масла, що потрапило в камеру згоряння, піддається коксуванню з утворенням твердих продуктів коксу і нагару, що може бути причиною оплавлення і розтріскування поршнів, прогару випускних клапанів тощо.

У циліндро-поршневій групі створюються найбільш важкі умови для роботи масел. Тут масло знаходиться у виді тонкої плівки і піддається впливу температур 1500...3300°С від гарячих стінок циліндра і поршня, відпрацьованих газів тощо. При цьому відбувається випаровування легких фракцій масел і його глибоке окислювання.

Масло при роботі стикається з різними металами. Деякі з них можуть бути каталізаторами, тобто прискорювати процес окислювання. До таких металів відносяться в першу чергу свинець, мідь і їх сплави (табл. 2.10), відносно слабо каталізують процес окислювання цинк, олово. Каталітична дія металів змінюється в залежності від умов окислювання. Якщо з поверхні металу видалити оксидну плівку, то такий метал як, наприклад, алюміній, стає одним із самих активних каталізаторів. У присутності двох металів, наприклад, заліза і міді, процес окислювання здійснюється активніше, чим у присутності цих металів окремо.

В результаті окислювання масла утворюються низькотемпературні осади (шлами) і високотемпературні відкладення (нагари і лаки). Шлами являють собою не розчинні в маслі речовини, що відкладаються в камері згоряння і системі мащення. Наприклад, нагромаджуючись в мастилопроводах, шлами можуть навіть порушити або припинити доступ масла до поверхонь тертя деталей. Паливо, вода, механічні домішки, продукти (тверді) окислювання масла приймають саму особисту участь в утворенні шламів.

Таблиця 2.10

Вплив металів на окислювання масел  
(при температурі 120 °С та впливу 70 годин)

| Показники                                     | Після окислювання в присутності металів |                    |      |       |      |      |       |
|---|---|--------------------|------|-------|------|------|-------|
|   | Ви-<br>хідне<br>масло                   | Без<br>мета-<br>лу | Zn   | Fe    | Sn   | Cu   | Pb    |
| Кислотне<br>число, мг<br>КОН/1 м <sup>3</sup> | 0,06                                    | 0,06               | 0,06 | 0,07  | 0,07 | 0,07 | 11,84 |
| Осад, %                                       | –                                       | –                  | –    | сліди | –    | 0,03 | 2,64  |

В результаті окислювання масла утворюються низькотемпературні осади (шлами) і високотемпературні відкладення (нагари і лаки). Шлами являють собою не розчинні в маслі речовини, що відкладаються в картері і системі мащення. Наприклад, нагромаджуючись в маслопроводах, шлами можуть навіть порушити або припинити доступ масла до поверхонь тертя деталей. Паливо, вода, механічні домішки, продукти (тверді) окислювання масла приймають саму особисту участь в утворенні шламів.

Особливо інтенсивне утворення шламів спостерігається при роботі двигуна на зниженому тепловому режимі, при зниженні температури двигуна (по охолоджувальній рідині і маслу) до 50°С и нижче. Це пояснюється конденсацією водяних парів у картері, при прориві відпрацьованих газів з камери згоряння (рис. 2.8). Вода сприяє коагуляцію домішок і випаданню їх в осад. При знижених теплових режимах двигуна погіршується процес згоряння палива. Частина продуктів неповного згоряння палива попадає в масляний картер, забруднюючи масло і прискорюючи його окислювання. У двигунах, що працюють на етилованому бензині, у складі шламів присутній

свинець, що також свідчить про участь палива в утворенні осадів.



Рис. 2.6. Залежність кількості конденсату в картерних газах на виході з двигуна і ступеня їх конденсації в двигуні від його робочих температур (по воді та маслу):

- 1 – кількість конденсату в картерних газах на виході з двигуна;
- 2 – ступінь конденсації картерних газів у двигуні

Склад осадів непостійний і залежить від якості масла, палива, умов експлуатації, технічного стану двигуна. Склад осаду наступний: масло – 50...85%, вода – 5...35%, паливо – 1...7%, оксікислоти – 2...15%, асфальтени–0,1...1,5%, карбени і карбоїди – 2...10%, зола – 1...8%. У двигунах, що працюють на перемінних режимах з частими пусками і зупинками (наприклад, при роботі в міських умовах), в умовах підвищеного забруднення ззовні, масло окислюється швидше, утворення шламів відбувається інтенсивніше в порівнянні з маслами в двигунах, що працюють при постійному тепловому режимі. Шламоутворення збільшується при використанні низькоякісних масел, особливо у високофорсованих двигунах (наприклад, використання масла М-8М2 замість масла М-8М2К в автомобілях КамАЗ). Крім того, на швидкість окислювання, утворення шламів впливає технічний стан двигуна. Так, у 1,35 рази

збільшується кількість відкладень при збільшенні зазору в зоні поршневих кілець від 0,6 до 1,2 мм. Це пояснюється різким збільшенням прориву газів у картер.

Низькотемпературні відкладення накопичуються в каналах системи мащення, картері двигуна, на сітці, фільтрах, кришці клапанної коробки. При цьому погіршується очищення масел, спостерігається підвищений знос деталей двигуна, у першу чергу, вкладишів підшипників і шийок колінчастого вала, гільз циліндрів і поршневих кілець. Використання низькоякісного масла, інтенсивне утворення низькотемпературних відкладень – шламів веде до перевитрати палива та масла, знижує надійність роботи двигуна.

Нагари являють собою вуглисті речовини, що відкладаються на стінках циліндра, днищі поршня. Кількість і якість утворення нагарів залежить від багатьох параметрів, у тому числі якості палива і масел. При роботі двигуна на маслах підвищеної в'язкості збільшується кількість нагару, при використанні палив і масел з підвищеним змістом сірки – щільність нагарів. Нагари можуть бути причиною калільного запалювання і детонаційного згоряння палива в двигунах з іскровим запалюванням. Якщо двигун працює на постійному підвищеному тепловому режимі, кількість нагару знижується. При використанні низькоякісних масел, підвищенні температури збільшується можливість залягання поршневих кілець внаслідок збільшення кількості нагарів і забруднення масел продуктами згоряння палива. Залягання кілець може бути викликано механічними домішками, що “вдавлюються” у торцеві поверхні канавки і кільця. Нагар, домішки можуть накопичуватися в зазорі між кільцем і канавкою поршня, що приводить до задирів кільця і циліндра, тому що кільце буде виступати над поверхнею поршня, до стирання (затирання) їх поверхонь. Нагари на впускних клапанах, продувних вікнах гільз циліндрів знижують коефіцієнт наповнення циліндрів, викликають перевитрату палива, знижують потужність двигуна і т.п.

Лаки — дуже щільні, речовини, що утворюються в зоні поршневих кілець і на гарячих деталях двигуна. Із збільшенням температури лакоутворення підвищується. При підвищеному лакоутворенні відбувається пригорання поршневих кілець, вони не виконують свої функції, порушується герметичність між поршнем і циліндром. Лакоутворення підвищується також при використанні масел підвищеної в'язкості. Лаки, що утворюються на стрижнях випускних клапанів, у ряді випадків приводять до їх заклинювання і наступної поломки штанг, виходу з ладу двигуна.

На окисленість суттєво впливає старе масло. Тому перед заправленням свіжим маслом картер і всю масляну систему необхідно промити. Промивання двигуна веде до зниження витрати палива й масла, зменшення зносу двигуна, підвищенню його надійності. У присутності старих продуктів окислення термін служби свіжого масла зменшується в 1,5...2 рази. Промивати двигун слід спеціальними промивочними маслами які мають високі мастильні властивості і розчинюючу здатність. Цими якостями не володіють для промивання двигунів веретенне, трансформаторне масло, гас, дизельне паливо або суміші палив з моторними маслами. Відпрацьоване масло зливають при температурі 75...85°C, заливають промивочне масло і дають попрацювати двигунові 15...20 хв. при перемінних частотах обертання колінчастого вала. По закінченні промивання промивочне масло зливають і заливають свіже моторне.

У зношених двигунах масло окислюється значно швидше (особливо в двигунах, що пройшли капітальний ремонт), ніж у нових.

З метою підвищення антиокисних властивостей в масло додають антиокисні присадки. Щоб запобігти випаданню в осад продуктів окислювання масла, утворення нагарів і лаків, масла повинні володіти високими миючими властивостями. Під миючими (диспергованими) властивостями мається на увазі здатність масла утримувати нерозчинні в маслі речовини в зваженому стані, не давати можливості дрібним часточкам

коагулюватися та осідати на металеві поверхні. Миючі властивості масел залежать від термоокислюваної стабільності. Чим більше працює масло, тим більше в ньому нерозчинних речовин.

При проходженні через фільтр тонкого очищення частина речовин залишається на фільтрі, а частина – в маслі (рис. 2.7). Фільтрація дозволяє різко знизити кількість відкладень у двигуні. Крім твердих продуктів окислювання при фільтрації видаляються інші тверді речовини, які потрапляють з повітрям і газами, що прориваються, та продуктами зносу двигуна і викликають абразивний знос двигуна. Масла, призначені для тяжких умов роботи, наприклад у дизельних двигунах вантажних автомобілів і автобусів, значний час працюють на режимі високих навантажень. Високі миючі властивості масла для цих умов роботи двигунів мають першорядне значення, менш важливі ці властивості для легкових автомобілів, хоча значимість миючих властивостей для легкових автомобілів не знижується. Для поліпшення миючих властивостей масел у їх склад вводять детергентно-диспергуючі присадки.



Рис. 2.7. Нагромадження осаду в маслі і на фільтрі тонкого очищення при роботі двигуна:

1 – осад в маслі при роботі двигуна без фільтра; 2 – осад на фільтрі тонкого очищення; 3 – осад в маслі при роботі двигуна, обладнаного фільтром тонкого очищення

---

---

Термоокислювана стабільність масел, їх антиокисні властивості, схильність до утворення відкладень при низьких температурах миючі властивості масел визначають спеціальними методами.

## 2.5. Низькотемпературні властивості масел

Для масел, які працюють при низьких температурах, велике значення має їх рухомість. Масла з дуже високою в'язкістю або такі, що втратили рухомість використовувати заборонено. Низькотемпературні властивості масел залежать від хімічного складу. Втрата рухомості масел пояснюється кристалізацією високоплавких парафінових вуглеводнів. Температура втрати рухомості масел в стандартних умовах (за ГОСТ 20287-74) називається *температурою застигання*. Цей показник умовний, але ним користуються для приблизного визначення низькотемпературних властивостей робочих температур і масел. Температура експлуатації повинна бути на 20 °С вище температури застигання масла. Масло, що застигло, не тільки не потрапляє до насосу, а й не прокачується по масляній системі. На маслі, що застигло, не можливий запуск двигуна, механізму та будь-якого агрегату. Встановлено, що значення в'язкості під час пуску більш значуще ніж температура застигання. Для пуску двигуна масло повинне мати значення в'язкості не більше 8000...9000 мм<sup>2</sup>/с для бензинових двигунів та не більше 10000...12000 мм<sup>2</sup>/с для дизельних. Якщо в'язкість масла при пуску вище цих допустимих границь, необхідно застосовувати додаткові заходи з метою полегшення пуску двигуна, тобто зменшити в'язкість масла – підігрів масла безпосередньо в картері, заправлення прогрітим маслом тощо. Як виключення, допускається розбавлення моторного масла низькокиплячим бензином перед зупинкою двигуна на тривалий час. При нагрівання масла бензин випаровується і в'язкість масла зрівнюється з початковою до розбавлення бензином. Такий пуск двигуна виправдовує себе, оскільки палива при ускладненому запуску витрачається більше

## Масильні матеріали та їх властивості

чим бензину, який витрачається на розбавлення масла. При розбавленні масла бензином різко знижується в'язкість, що полегшує пуск двигуна, суттєво зменшуються пускові зноси двигуна. Наприклад, при добавленні до високо-в'язкого авіаційного масла МК-22 15% бензину марки Б-70 в'язкість масла при температурі  $-30^{\circ}\text{C}$  знижується з  $1,5 \cdot 10^4 \text{ мм}^2/\text{с}$  до  $102 \text{ мм}^2/\text{с}$ , тобто більш як в 100 разів. Бензин добавляють в моторні масла після зупинки двигуна при температурі охолоджувальної рідини близько  $40^{\circ}\text{C}$ . Після добавлення масло перемішують приблизно 1 хв. на малих обертах двигуна. В залежності від температури навколишнього повітря в масло добавляють до 10% бензину. Використання етилованих бензинів, гасу, дизельного палива для цих цілей недопустимо.

Пуск двигуна здійснюється при такій частоті обертання колінчастого валу двигуна, яка забезпечує умови для створення необхідного складу суміші для запалення. Для забезпечення таких умов велику роль відіграє в'язкість масла в момент пуску двигуна. Мінімально допустимі температури навколишнього повітря для запуску двигуна при використанні масел відповідних марок наведені нижче:

| <i>Марка двигуна</i>      | <i>Мінімальна температура пуску, <math>^{\circ}\text{C}</math></i> |
|---------------------------|--|
| ЯМЗ-238                   | -10...-15  |
| КамАЗ-740                 | -16...-17  |
| Москвичі всіх модифікацій | -13...-14  |
| ВАЗ всіх модифікацій      | -23...-24  |
| ЗМЗ-53                    | -16...-17  |
| ЗИЛ-375                   | -18...-19  |
| ЗИЛ-130                   | -20...-21  |

Для масел, які використовуються на Півночі, в'язкість повинна мати наступні значення (ГОСМТ 21531-76):

| <i>В'язкість, <math>\text{мм}^2/\text{с}</math></i> | <i>Бензинові двигуни</i> | <i>Дизельні двигуни</i> |
|---|--------------------------|-------------------------|
| При $100^{\circ}\text{C}$ , не менше                | 6,0                      | 8,0                     |
| При $-40^{\circ}\text{C}$ , не більше               | $19 \cdot 10^3$          | $24 \cdot 10^3$         |

---

---

Недотримання правил пуску холодного двигуна, відсутність необхідного теплового режиму при його експлуатації приводить до значного збільшення витрати масла та палива, інколи на 20...25%. Знизити температуру застигання масел можна депарафінізацією при добавленні домішок (депресантів).

Механізм дії цих присадок на думку деяких вчених зводиться до утворення на металі захисних плівок, які перешкоджають безпосередньому впливу корозійно-активних речовин на метал. Виникнення плівок є складним процесом, характер, швидкість та глибина якого залежать від хімічного складу домішок та умов їх взаємодії з металом. Вважають, що на першій стадії процесу в результаті взаємодії антикорозійної домішки безпосередньо з металом на його поверхні утворюється захисний шар плівки, а потім на ньому під дією адсорбційних сил нарощуються нові шари.

Для кожного складу металу і домішки є визначений температурний інтервал при якому спостерігається найвища інтенсивність цього процесу. Таким інтервалом для більшості сірко- та фосфороутримаючих домішок є температура 90...120 °С. При більш низьких температурах захисна плівка відновлюється повільно, а при більш високих – вона руйнується. При цьому експериментально доведено, що при механічному руйнуванні плівки на поверхні деталі антикорозійна присадка може її відновлювати.

На думку інших вчених, механізм дії антикорозійних присадок (алкілфенолятів лужних та лужноземельних металів) може полягати у нейтралізації корозійно-агресивних продуктів, які утворилися при згорянні (особливо сірчастого палива) та окисленні масла.

В стандартах на деякі, головним чином моторні, нормують експлуатаційний показник – корозійність.

Для оцінки корозійності змащувальних масел запропоновано декілька методів, основними з яких є методи Пінкевича, НАМИ, а також Папок, Зарубина та Захарова (скорочено ПЗЗ).

## Мастильні матеріали та їх властивості

За методом Пінкевича про корозійність масла судять за втратою маси металевої пластинки (з свинцю та свинцевистої бронзи) при впливі на неї нагрітого до  $140^{\circ}\text{C}$  досліджуваного масла та періодичному контакті з киснем повітря протягом 50 г випробування. Для цього служить спеціальний прибор, схема якого показана на рис. 2.8.

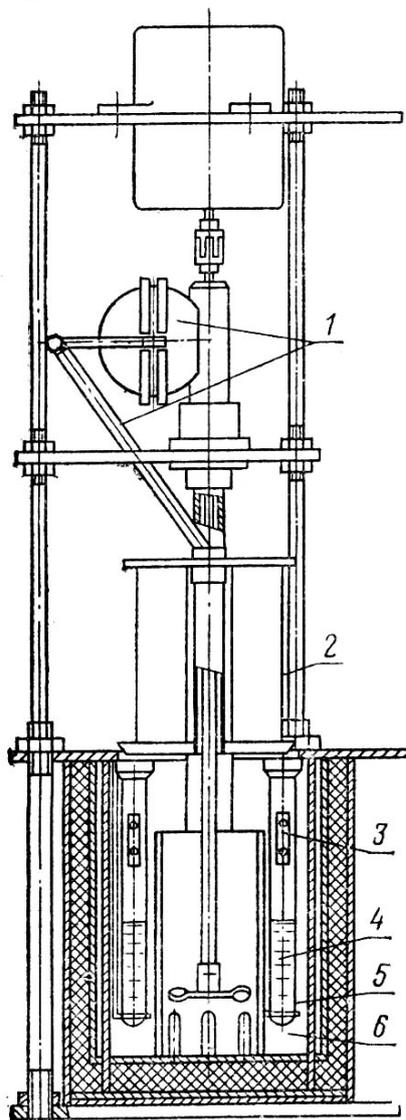


Рис. 2.8. Схема прибору Пинкевича для визначення корозійності масел

Для кожного виду досліджуваного масла беруть дві стаціонарні свинцеві пластини з розмірами  $60 \times 20 \times 2,5$  мм та важать на аналітичних вагах з точністю  $0,02$  г. У вісім скляних пробірок

---

---

5 (для чотирьох зразків досліджуваного масла) наливають по  $80 \pm 1,2$  г досліджуваного масла 4 та опускають в масляну вану 6 нагріту до  $140 \pm 2$  °С. Всі пластинки зв'язані сталевими дротами 2 з кривошипним механізмом 1, за допомогою якого періодично (15 разів за 1 хвилину) піднімають і знову опускають пластинки в масло. Після дослідження пластинки виймають, ретельно промивають та важать.

Корозійність ( $\text{г/м}^2$ ) досліджуваного зразка масла підраховують за формулою

$$K = \frac{q - q_1}{F}, \quad (2.4)$$

де  $q$  - маса пластинки до дослідження, г;

$q_1$  - маса пластинки після 50 год. випробування, г;

$F$  - площа поверхні пластинки,  $\text{м}^2$ .

Таким чином, чим більшу масу втрачає пластинка в процесі випробування, тим вище корозійність масла.

За останні роки все більше поширення отримав метод оцінки корозійності масла на приладі ДК-3 НАМИ (ГОСТ 20502-75), який дозволяє визначити потенційну і дійсну корозійність масла.

При випробуванні на потенційну корозійність свинцеві пластинки розміщують у фасонні колби в які заливають по 36,5 г досліджуваного масла. Колби закривають касетами та опускають в масляну ванну, нагріту до 140 °С. Касета з колбами обертається в масляній ванні із швидкістю 30 об/хв. При кожному оберті касети навколо осі пластини почергово омиваються гарячим маслом та повітрям. Тривалість випробування 10 годин.

Дійсну корозійність визначають аналогічно потенційній. Різниця лише в тому, що випробування проводять не у відкритих, а у щільно закритих колбах (без доступу повітря) та дослід триває не 10 годин, а за кілька хвилин, що виключає мож-

ливість інтенсивного окислення зразка масла під час випробувань.

Після досліду корозійність масла ( $\text{г/м}^2$ ) визначають за формулою 2.4.

В методі ПЗЗ використовується маслорозмірна лабораторна установка, яка імітує умови роботи масла в системі мащення двигуна. Про корозійність масла судять також за зменшенням маси свинцевих пластинок стандартних розмірів ( $40 \times 20 \times 2$  мм).

### 2.6. Протикорозійні властивості

Корозія металів та особливо схильних до неї антифрикційних підшипникових сплавів характеризується послідовним протіканням цілого ряду процесів, які виражаються такими загальними ознаками: появою на робочій поверхні антифрикційного сплаву шорстких точок та плям; корозійних точок на поверхні в межах плям, що з'явилися; утворення в місцях корозійних точок невеликих поглиблених раковин; утворення тріщин, які з'єднують раковини; викришування антифрикційного сплаву по тріщинам між раковинами.

В процесі роботи різних механізмів масло окислюється, в ньому накопичуються органічні кислоти, перекиси, окискислоти, смоляні речовини. В двигунах внутрішнього згоряння масло стикається з продуктами згоряння, в результаті в них утворюються корозійно-активні окисли сірки та кислоти.

На швидкість корозійного руйнування суттєвий вплив здійснює вода. Вона може накопичуватися в маслі при невиконанні правил перевезення, збереження та заправлення машин. Крім того, пари води потрапляють в масло під час роботи двигуна разом із газами, що прориваються в картер, які містять багато води, що утворюється при згорянні палива.

Кисень і вода, які вміщуються в маслі, можуть поєднуватися із металом деталі утворюючи при цьому гідроокиси, наприклад  $\text{Pb}(\text{OH})_2$ . В подальшому гідроокис вступає в реакцію об-

---

---

міну водню органічної кислоти RCOOH на метал з утворенням солей  $(RCOO)_2Pb$  та води



де  $M$  – метал.

За формулою (2.5) можна схематично представити корозію металу високомолекулярними органічними кислотами. Корозія металів і особливо найбільш схильних до неї підшипникових сплавів із кольорових металів проявляється по різному, частіше процесами, що протікають послідовно.

Введення протикорозійних присадок призвано покращити один з визначальних показників змащувального масла – його стабільність проти корозії. Протикорозійні присадки додають в масла, з метою виключення корозії металів, в першу чергу сплавів кольорових металів, які застосовуються в якості антифрикційних матеріалів. В якості протикорозійних присадок запропоновані різні сполучення: трибутилфосфит, трифенілфосфит, осернене масло з додаванням стесфіну (АКОР-1), алкилфеноляти лужних та лужноземельних металів (присадки ДФ-1, ЛАНИ-213 тощо), ефір алкенилянтної кислоти (В 15/41) та багатокомпонентні концентрації присадок типу КП.

## **2.7. Вплив вмісту води та механічних домішок на якість масла**

Вода та механічні домішки викликають підвищений знос пар тертя, прискорюють окислення масла та збільшують його витрату. Наявність води в маслі значно впливає на його антифрикційні властивості. Вода дуже шкідлива для присадок, які під її дією гідролізуються та вимиваються. А використання масла без присадок не допустимо.

Дію води на присадки можна перевірити так. В дві чисті сухі пляшки на  $\frac{1}{2}$  висоти залити свіже масло та в одну з них додати близько 10 мг води, перемішати, але без утворення ему-

льсії. Через 10...12 годин на дні пляшки з маслом і водою з'явиться білий водно-емульсійний шар. Масло в іншій пляшці залишиться прозорим і однорідним. При зливанні з картера двигуна відпрацьованого масла дуже часто спочатку стікає бурій емульсійний розчин присадок у воді. Це значить, що в маслі була вода, яка розклала присадки. Причина потрапляння води в масло: погана вентиляція картера, порушення герметичності системи охолодження, заправлення масла разом з водою тощо.

Для визначення придатності масла достатньо провести якісний аналіз на наявність води в ньому. Якщо вода присутня і в свіжому маслі, що ще не працювало, то таке масло не придатне до використання. Визначити наявність води в маслі можна і самостійно, без приладів та без експрес-методів. Для цього потрібно в суху чисту пробірку на  $\frac{1}{4}$  висоти залити якісно перемішане досліджуване масло. Дно пробірки, яка нахилена під кутом  $45^{\circ}$  отвором від себе, нагрівають сірником (попередньо, не більше трьох сірників). Поява піни свідчить про наявність води в маслі.

В період зберігання машин в маслі накопичується вода і відбувається корозійний знос деталей, яких в техніці сезонного використання в 3...5 разів більше зносу машин всесезонного використання. При великому вмісті води в маслі частина її потрапляє в підшипники колінчастого валу двигуна, де перетворюється у пару за рахунок теплоти нагрітого підшипника. Пара, в свою чергу, змиває (зриває) масляну плівку із шийки колінчастого валу та вкладишу, при цьому неминуче задирання. Використання антифризів, які володіють високою проникною здатністю, може негативно сказатися на роботі масляної системи двигуна.

Механічні домішки викликають в першу чергу механічний і абразивний знос пар тертя. До механічних домішок відносять пісок (абразив), продукти зносу та окислення, розпаду присадок, глибокого окислення масла, неповного згоряння палива тощо. Підвищений вміст механічних домішок в маслі свідчить про незадовільний стан роботи або забивання масляних фільтрів.

Визначити наявність механічних домішок в маслі, що навіть не працювало, дуже легко. Механічні домішки видно в краплині масла нанесеної на чисте сухе скло.

Практика показала, що в процесі роботи моторного масла вміст механічних домішок збільшується. Найбільш інтенсивне накопичення механічних домішок відбувається в перші 60...120 годин роботи масла, а потім процеси стабілізуються і якість утримання масляними фільтрами механічних домішок можна вважати постійним. Інтенсивне накопичення механічних домішок в перший період пояснюється процесами окислення мало-стабільних вуглеводнів масла із всього його об'єму в системі мащення, а в наступному цей процес протікає головним чином в мікрооб'ємах масла для компенсації тієї його частини, що згорає.

## **2.8. Протизносні та протизадирні присадки**

Знос різних агрегатів, вузлів, механізмів та деталей тракторів, автомобілів і сільськогосподарської техніки залежить від ряду факторів. Так, різке підвищення хімічної активності масла сприяє прояві корозійно-механічного і хімічного зносу. Недостатнє потрапляння масла в зону тертя призводить до інтенсифікації адгезійного зносу тощо. Конструктивні особливості вузла тертя також накладають свій відбиток на характер зносу.

На процес тертя і спрацювання контактних поверхонь у машинах і механізмах великий вплив оказують протиспрацювальні, протизадирні та антифрикційні експлуатаційні властивості масла. Змащувальна властивість масел є узагальненим поняттям цих їх експлуатаційних властивостей. Масла повинні мати високу змащувальну властивість, щоб знижувати втрати на тертя і запобігати або зменшувати їх спрацювання при робочих навантаженнях та швидкостях. Якщо при рідинному мащенні відповідно до гідродинамічної теорії змащувальна дія на поверхні тертьових деталей визначається в основному в'язкістю та

індексом в'язкості масла, то в умовах граничного мащення вирішальне значення мають поверхнево-активні властивості масла.

В умовах тертя при граничному мащенні в результаті адсорбції поверхнево-активних компонентів масел утворюється гранична плівка, яка розділяє тертьові поверхні та перешкоджає їх контакту. Однак, плівки базових масел здатні захищати деталі від тертя та спрацювання лише при помірних навантаженнях і температурах. При навантаженнях та температурах вище критичних значень, що перебільшують міру міцності плівки, адсорбційний шар руйнується. Для підвищення змащувальної властивості масел, що застосовують в умовах високих навантажень і температур, до їх складу вводять присадки. Механізм дії присадок обумовлений двома основними факторами: адсорбцією присадок на металевих поверхнях і хімічною активністю молекул присадки по відношенню до матеріалів тертьових пар.

Утворення адсорбційного шару на поверхні металу веде до зменшення площі металевого контакту та зниження внаслідок цього спрацювання тертьових пар. Важливе значення при цьому має поведінка адсорбованих на поверхні металу молекул присадок з підвищенням температури. Збільшення температури поверхні може привести до часткової десорбції присадки у випадку її слабого зв'язку з металом, що в свою чергу буде супроводжуватися підвищенням спрацювання пар тертя. Коли міцність зв'язку адсорбованих молекул присадки з металом досить велика, то при підвищенні температури спостерігається хімічна реакція між адсорбатом і адсорбентом, яка супроводжується модифікацією поверхневих шарів металу.

Для підвищення протиспрацювальних властивостей масел в них вводять антифрикційні присадки, тобто речовини, що мають поверхневу активність: природні жири, жирні кислоти, їх ефіри і солі тощо. Антифрикційні присадки знижують або стабілізують коефіцієнт тертя тим самим запобігають інтенсивному спрацюванню тертьових поверхонь при помірних навантаженнях.

---

---

Протизадирні присадки, які вводять в масла, запобігають інтенсивному спрацюванню та заїданню при надвисоких навантаженнях, підвищуючи критичне навантаження заїдання. Механізм дії протизадирних присадок такий. При високих температурах протизадирні присадки хімічно взаємодіють з металами тертьових поверхонь, утворюють сполуки, що мають менший опір зрізу та більш низьку температуру плавлення ніж чисті метали, внаслідок чого запобігається заїдання та схоплювання поверхонь.

Поділ присадок на антифрикційні, протиспрацювальні та протизадирні умовний, тому що задир є окримий випадок загального процесу спрацювання твердих тіл при терті. Протиспрацювальні та протизадирні присадки водночас підвищують антифрикційні властивості масел. В основному протиспрацювальні та протизадирні присадки містять органічні сполуки сірки, фосфору, хлору тощо (ЭФО, ЛЗ-309/2, ОТП, АБЭС, ЛЗ-23К, ИХП-14А та інші).

У моторних маслах як протизадирні застосовують присадки, що належать за основним призначенням до антиокислювальних: ДФ-11, ДФ-1, ВНИИНП-354, ДФБ.

В останній час для зниження спрацювання і тертя тертьових поверхонь в умовах високих температур та навантажень використовують добавки, що являють собою колоїдні дисперсії нерозчинених у маслі сполук (дисульфід молібдену, графіт). Ці сполуки також називають модифікаторами тертя. У ряді випадків модифікатори тертя більш ефективні, ніж маслорозчинені присадки бо не втрачають змащувальних властивостей у більш широкому температурному інтервалі та в умовах високих контактних тисків.

## **2.9. Випаровуваність масел**

Випаровуваність масел характеризується фракційним складом. Моторні масла одержують з висококиплячих фракцій нафти, тому вони в період експлуатації випаровуються незнач-

но. Масла з вузьким фракційним складом, тобто, що википають у невеликому інтервалі температур, володіють кращими в'язкісно-температурними властивостями, більш високою температурою спалаху в порівнянні з маслами, що мають однакову в'язкість при 100 °С, але з більш широким фракційним складом. Нижні межі температури кипіння масел встановлюють у залежності від їх випаровуваності при роботі і від мастильних властивостей. В маслах, наприклад, для бензинових і газових двигунів допускається не більш 5 % фракцій, що википають до 340 °С, Ці фракції впливають на витрату масел у двигуні. Чим їх більше, тим більше втрати масла на чад внаслідок випару легких фракцій, у результаті чого зростає в'язкість масел.

Вимоги до фракційного складу дизельних масел менш тверді, чим до масел для бензинових і газових двигунів. Зміст у дизельних маслах не більш 5% фракцій, що википають до 320...325 °С, практично не збільшує витрати масел.

Верхні межі температури кипіння масел установлюють керуючись головним чином такими вимогами, як плинність при низьких температурах і нагароутворююча здатність. Носіями високої в'язкості є ароматичні поліциклічні вуглеводні, що визначають підвищену схильність масел до нагароутворення. Із збільшенням температури википання масел росте в'язкість і нагароутворення. Для одержання масел з низькою схильністю до нагароутворення необхідно, щоб верхня межа фракційного складу масел не перевищував 400°С. При більш високих температурах у залишкових масел схильність до нагароутворення збільшується. Чим менше ступінь стиску в двигуні, тим менше небезпека нагароутворення.

Регулювання фракційного складу масляної основи по верхній межі википання у сполученні з застосуванням в'язкісних присадок дозволяє одержувати масла з необхідними в'язкісно-температурними і нагароутворюючими властивостями. Використовуючи інші за призначенням присадки, можна одержати якісні за всіма експлуатаційними показниками масла.

Випаровуваність масел характеризується температурою спалаху. За даними НАМИ (Центральний науково-дослідний автомобільний і автомоторний інститут), для масел одного класу в'язкості, наприклад,  $10 \text{ мм}^2/\text{с}$  при  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ , зниження температури спалаху з  $250$  до  $218 \text{ }^\circ\text{C}$  викликає перевитрату масла на  $10\dots15\%$  внаслідок збільшення чаду в дизелі. Особливо велика витрата масла на чад спостерігається в двигунах, що пройшли капітальний ремонт.

### 3. МОТОРНІ МАСЛА

- 3.1. Вимоги, що пред'являються до моторних масел*
- 3.2. Склад і умови роботи моторних масел*
- 3.3. Класифікація та асортимент моторних масел*
- 3.5. Взаємозамінність масел*
- 3.5. Спрацьованість та заміна масел*

#### **3.1. Вимоги, що пред'являються до моторних масел**

Масла, що використовуються в системах мащення двигунів внутрішнього згорання, називаються *моторними маслами*. Їх головне призначення – знижувати знос деталей двигуна за рахунок створення на поверхні тертьових деталей міцної масляної плівки. Крім цього, моторні масла повинні забезпечувати ущільнення зазорів у деталях циліндро-поршневої групи, відвід тепла і видалення продуктів зносу з зон тертя, захист робочих поверхонь деталей двигуна від корозії, а також сприяти полегшенню пуску двигунів при низьких температурах. Моторні масла повинні запобігати утворенню всіх видів відкладень на деталях двигуна при його роботі на різних режимах, забезпечувати високу стійкість проти окислювання, тобто збереження фізико-хімічної стабільності в процесі роботи, а також при тривалому зберіганні. Крім того, моторні масла повинні забезпечувати мінімальну витрату при роботі двигуна і максимальний термін служби до заміни без збитку для надійності двигуна, володіти гарною в'язкісно-температурною характеристикою, високою миюче-диспергуючою здатністю.

Основою вітчизняних моторних масел є продукти, отримані в процесі перегонки нафти, головним чином, у процесі фракційної перегонки мазуту - залишку, що утворюється після одержання так званих світлих нафтопродуктів (бензину, гасу, дизельного палива й ін.). Самі по собі ці продукти володіють непоганою змащувальною дією, однак для сучасних двигунів ці властивості явно недостатні. Необхідний якісний рівень моторних масел досягається введенням у нафтову основу спеціальних присадок у визначених кількостях і сполученнях. Серед них найбільш важливі протизносні, протизадирні, миючі, антипінні, антиокисні. Обсяг і ефективність введених в основу присадок визначають експлуатаційні властивості і призначення кожного конкретного сорту масел.

Властивості мастильних матеріалів повинні в максимальному ступені задовольняти вимогам при їх використанні в двигуні, а також при зберіганні і транспортуванні.

У загальному випадку до мастильних матеріалів пред'являють наступні основні вимоги: наявність антифрикційних і антизадирних властивостей; висока фізична і хімічна стабільність в експлуатаційних умовах роботи в двигуні; мінімальний негативний вплив на конструктивні матеріали (окислювання, науглероджування тощо); здатність захищати конструкційні матеріали від хімічних агресивних речовин (захисні властивості); здатність відводити теплоту і продукти зносу від поверхонь тертя; максимальний ресурс; мінімальна токсичність і гарні протипожежні характеристики; розвинена виробнича база, висока економічна ефективність і т.д.

Варто вказати на одну важливу самотійну функцію моторного масла - крім відводу теплоти, що виникає при терті, воно в ряді випадків (особливо у високофорсованих двигунах) повинно відводити від поршня і частково від кілець і циліндра двигуна теплоту, передану їм при згорянні палива.

### 3.2. Склад і умови роботи моторних масел

Властивості товарного моторного масла визначаються складом і технологією переробки базового масла, а також функціональними властивостями присадок.

Суміш базового масла з присадкою не є цільним розчином. В маслі поряд з окремими молекулами присадки можуть бути присутніми більш великі скупчення її молекул - *мицели*. Коливання температури і наявність води збільшує кількість молекул, зв'язаних у мицели; і їх розміри. При досягненні визначених розмірів мицели можуть випадати в осад і затримуватися системами очищення масел.

В залежності від вихідної сировини, використаної для одержання базового масла, моторні масла поділяють на *нафтові* (одержані перегонкою нафти) і *синтетичні*, до яких прийнято відносити базові моторні масла, одержані хімічними методами.

Для виготовлення практично всіх сучасних моторних масел використовують базові нафтові масла. Ці масла являють собою важкі, в'язкі нафтові фракції з температурою кипіння понад  $620^{\circ}\text{C}$ , щільністю  $820\dots 950\text{ кг/м}^3$ , практично нерозчинні у воді.

Нафтові масла складаються з вуглеводних молекул, що містять 20...70 атомів вуглецю які володіють молярною масою від 250 до 1000 і більше.

Базові нафтові масла за способом виготовлення поділяють на три види: *дистилятні* – одержані шляхом очищення окремих дистилятів, відокремлюваних при перегонці мазуту; *залишкові* — одержані шляхом очищення залишків, що виходять при переробці гудрону, і *змішані* (компаундовані), що складаються із суміші дистилятних масел із залишковими.

Вибір базового масла визначається заданою величиною в'язкості: для малов'язких моторних масел використовують дистилятні, для середньов'язких – змішані і для високов'язких – залишкові базові масла. Дистилятні масла мають в'язкість при  $373^{\circ}\text{C}$  менше  $11\text{ мм}^2/\text{з}$ , залишкові — у діапазоні  $15\dots 22\text{ мм}^2/\text{с}$ .

Ряд найважливіших властивостей нафтових масел зале-

жить від їх групового складу, що визначається походженням (родовищем) нафти і технологією переробки нафтопродуктів. Наприклад, масла із сірчистої нафти східних районів Росії в порівнянні з маслами з бакинської нафти мають більш високі протизносні властивості, але поряд з цим мають велику схильність до утворення відкладень. Тому нафтові масла однакової в'язкості, але різного походження мають неоднакові властивості і для їх вирівнювання необхідне введення різних кількостей і типів присадок.

Змашувальні властивості масла, у першу чергу визначаються тим, що в його склад входять полярні молекули поверхнево-активних речовин, які володіють здатністю адсорбуватися на твердих поверхнях і одночасно поєднуватися один з одним. Об'єднання може відбуватися як у напрямку, перпендикулярному осі молекул, тоді утворюються конгломерати молекул у вигляді пластин, так і уздовж осі з утворенням ланцюгових структур, що складаються з довгих гнучких конгломератів молекул. Такі конгломерати молекул мають анізотропію механічних властивостей – малий опір ковзанню (зрушенню) паралельно шарам і великий опір – у напрямку, перпендикулярному шарам.

Ефективність використання моторного масла визначається можливістю оптимізації його властивостей відповідно до умов протікання робочих процесів і особливостями конструкції двигуна. При роботі в двигуні моторне масло піддається впливу високих температур і тисків у присутності кисню повітря, води і сторонніх домішок. У цих несприятливих умовах масло повинне зберігати протягом максимально можливого періоду часу свої корисні властивості. Вимоги забезпечення запуску двигуна при низьких температурах навколишнього середовища і мінімального негативного впливу масла на матеріали конструкції двигуна розширюють і поглиблюють обсяг вимог, які ставляться до цих масел.

Стосовно до конкретних умов роботи масла в двигуні поділ тертя на гідродинамічне, граничне, напівсухе і сухе носить

умовний характер. На тих самих поверхнях в залежності від конкретно сформованих обставин можуть одночасно або послідовно існувати всі ці три види тертя. Найбільший вплив на працездатність масла здійснює температура. Для аналізу впливу температури в двигуні прийнято виділяти три температурні зони: *високотемпературну*, яка включає поверхню, що обмежує камеру згоряння (температура металевих поверхонь до 1100 °С); *середнетемпературну* – поршень, верхня частина шатуна, стінки циліндра (температура металевих поверхонь до 700 °С); *низькотемпературну* – область картера, колінчатий вал (найбільша температура до 500 °С на шатунних і корінних підшипниках). Кожна з цих зон характеризується визначеними, відмінними від інших, режимами роботи масла, впливом на нього механічних і термохімічних впливів, а отже, і вимогами, які застосовуються до властивостей моторних масел.

### 3.3. Класифікація та асортимент моторних масел

Для моторних масел установлені позначення відповідно ДО ДЕРЖСТАНДАРТУ 17479.1-85. Стандарт поширюється на масла з присадками, для змащування двигунів внутрішнього згоряння (автомобілів, тракторів, сільськогосподарських і будівельних машин і т.д.), і не поширюється на масла, для авіаційних двигунів.

В основу класифікації моторних масел за ДСТ 17479.1-85 покладені дві характерних ознаки: кінематична в'язкість і якісний рівень, обумовлений сумою найважливіших експлуатаційних властивостей. За в'язкістю масла поділяються на 3 класи: літні, зимові, всесезонні (таблиця 2.11). Літні масла нормуються значенням кінематичної в'язкості при +100 °С, зимові – при +100 °С та при –18 °С. Всесезонні масла позначаються дробом, у чисельнику вказує клас в'язкості зимового, а в знаменнику – літнього масла.

Таблиця 2.11

Класи кінематичної в'язкості моторних олій (ДСТ 17479.1-85)

| Клас в'язкості          | Кінематична в'язкість, мм <sup>2</sup> /с при температурі |                  |
|-------------------------|---|------------------|
|                         | +100°С  | -18°С, не більше |
| <b>Зимові класи</b>     |   |                  |
| 3 <sub>з</sub>          | не менш 3,8   | 1250             |
| 4 <sub>з</sub>          | не менш 4,1   | 2600             |
| 5 <sub>з</sub>          | не менш 5,6   | 6000             |
| 6 <sub>з</sub>          | не менш 5,6   | 10400            |
| <b>Літні класи</b>      |   |                  |
| 6                       | 5,6...7,0   | -                |
| 8                       | 7,0...9,5   | -                |
| 10                      | 9,5...11,5  | -                |
| 12                      | 11,5...13,0   | -                |
| 14                      | 13,0...15,0   | -                |
| 16                      | 15,0...18,0   | -                |
| 20                      | 18,0...23,0   | 0                |
| <b>Всесезонні класи</b> |   |                  |
| 3 <sub>з</sub> /8       | 7,0...9,5   | 1250             |
| 4 <sub>з</sub> /6       | 5,6...7,0   | 2600             |
| 4 <sub>з</sub> /8       | 7,0...9,5   | 2600             |
| 4 <sub>з</sub> /10      | 9,5...11,5  | 2600             |
| 5 <sub>з</sub> /10      | 9,5...11,5  | 6000             |
| 5 <sub>з</sub> /12      | 11,5...13,0   | 6000             |
| 5 <sub>з</sub> /14      | 13,0...15,0   | 6000             |
| 6 <sub>з</sub> /10      | 9,5...11,5  | 10400            |
| 6 <sub>з</sub> /14      | 13,0...15,0   | 10400            |
| 6 <sub>з</sub> /16      | 15,0...18,0   | 10400            |

Примітка: \*- визначається за номограмою до введення в дію стандарту на визначення динамічної в'язкості при температурі нижче 0°С.

Система позначень моторних масел включає кілька знаків: букву М (моторне), цифру, що характеризує клас кінематичної

## Моторні масла

в'язкості, і букву, що позначає приналежність до групи за експлуатаційними властивостями (таблиця 2.12). Дробові цифри в чисельнику вказують клас в'язкості масла при  $-18^{\circ}\text{C}$ , а в знаменнику - клас в'язкості при  $100^{\circ}\text{C}$ . Цифри в буквах позначають наступне: індекс "1" привласнюють маслам для карбюраторних двигунів, "2" - для дизельних. Універсальні масла, призначені для використання як у дизелях, так і в карбюраторних двигунах одного рівня форсування, індексу в позначенні не мають. Універсальні масла, що належать до різних груп, мають подвійне позначення, у якому перше характеризує якість масла як дизельного, друге – як карбюраторного.

*Таблиця 2.12*

Групи моторних масел за призначенням та експлуатаційними властивостями (ГОСТ 17491.1-85).

| Група мастила |                | Рекомендована область застосування  |
|---------------|----------------|---|
| 1             |                | 2   |
| А             |                | Нефорсовані карбюраторні двигуни та дизелі  |
| Б             | Б <sub>1</sub> | Малофорсовані карбюраторні двигуни, що працюють в умовах утворення високотемпературних відкладень і корозії підшипників   |
|               | Б <sub>2</sub> | Малофорсовані дизелі  |
| В             | В <sub>1</sub> | Середньофорсовані карбюраторні двигуни, що працюють в умовах окислення масла і утворенню всіх видів відкладень  |
|               | В <sub>2</sub> | Середньофорсовані дизелі, що пред'являють вимоги до протикорозійних, протизносних властивостей масел та схильність до утворення високотемпературних відкладень  |
| Г             | Г <sub>1</sub> | Високофорсовані карбюраторні двигуни, які працюють в тяжких експлуатаційних умовах, що сприяє окисленню масла, утворенню усіх видів відкладень, корозії та іржі |

| <i>Продовження табл. 2.11.</i> |  |
|--------------------------------|--|
| 1                              | 2  |
| Д                              | Високофорсовані дизелі з наддувом, що працюють в тяжких експлуатаційних умовах або у випадку, коли паливо вимагає використання масел з високою нейтралізуючою здатністю, антикорозійними та протизносними властивостями, малою схильністю до утворення всіх видів відкладень |
| Е                              | Лубрикаторні системи мащення циліндрів дизелів, що працюють на паливі з високим вмістом сірки  |

У необхідних випадках застосовують додаткові індекси: "рк" – робоче-консерваційні масла; "цл" - для циркуляційних і лубрикаторних систем мащення; "З" – масло, що містить загущуючу присадку; "20", "30" - значення лужного числа.

*Приклади, позначення моторних масел:*

М-8В<sub>1</sub> - буква "М" - моторне масло, цифра "8" - клас в'язкості, буква з індексом "В<sub>1</sub>" позначає, що за експлуатаційними властивостями масло відноситься до групи В<sub>1</sub> призначене для змазування середньофорсованих карбюраторних двигунів;

М-10-Г<sub>2</sub>ДО - буква "М"- моторне масло, цифра "10" - клас в'язкості, буква "Г" з індексом "2" означає, що за експлуатаційними властивостями воно відноситься до групи Г та призначено для змазування високофорсованих дизельних двигунів; буква "ДО" свідчить про те, що масло призначене для автомобілів КамАЗ;

М-6<sub>3</sub>/10-У - буква "М" - моторне масло, 6<sub>3</sub>/10 - клас в'язкості, буква "З" означає, що масло має експлуатаційну присадку, яка поліпшує в'язкістно-температурні властивості і призначено для застосування в якості всесезонного або зимового сорту, буква "У" без індекса означає, що це масло універсальне і призначено для змащування карбюраторних і газових двигунів.

М-4<sub>3</sub>/8-У<sub>2</sub>М<sub>2</sub> - моторне масло класу в'язкості 4<sup>3</sup>/8, призначено для використання в середньофорсованих дизелях (У<sub>2</sub>) та високофорсованих карбюраторних двигунах (Г<sub>1</sub>). Допускається

## Моторні масла

розробка і застосування нових марок масел у межах груп, встановлених стандартом. Основними групами масел для автомобілів, сільськогосподарської техніки, дорожніх і будівельних машин є масла груп В та Г.

Фізико-хімічні показники якості моторних масел для бензинових, газових і дизельних двигунів приведені в таблицях 2.13 та 2.14.

*Таблиця 2.13*

Масла моторні автомобільні для бензинових та газових двигунів

| Показник   | М-8В <sub>1</sub>  | М-8Г <sub>1</sub> | М-6з/10Г <sub>1</sub>   | М-12Г <sub>1</sub> |
|--|--------------------|-------------------|-------------------------|--------------------|
| В'язкість кінематична, мм <sup>2</sup> /с<br>при 100 °С, в межах<br>при 0 °С, не більше<br>при -10 °С, не більше | 8±0,5<br>1200<br>- | 8±0,5<br>-<br>-   | 10±0,5<br>1000<br>10400 | 12±0,5<br>-<br>-   |
| Індекс в'язкості, не менше   | 90                 | 100               | 125                     | 96                 |
| Вміст механічних домішок, %, не більше   | Сліди              |                   |                         |                    |
| Температура, °С<br>спалахи, що визначаються у відкритому тиглі не нижче охолодження, не більше                   | 200<br>-25         | 210<br>-30        | 210<br>-32              | 220<br>-20         |
| Лужне число, мг КОН на 1 кг масла, не менше  | 4,0                | 8,5               | 10,5                    | 8,5                |
| Вміст води, %, не більше   | Сліди              |                   |                         |                    |
| Корозійність на пластинках із свинцю, г/м <sup>3</sup>   | 10                 | Відсутня          |                         |                    |

Таблиця 2.14

## Масла моторні для автотракторних дизелів

| Показник  | Група В <sub>2</sub> |                    | Група Г <sub>2</sub> |                    |                     |                      |
|---|----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|---------------------|----------------------|
|   | М-8В <sub>2</sub>    | М-10В <sub>2</sub> | М-8Г <sub>2</sub>    | М-10Г <sub>2</sub> | М-8Г <sub>2</sub> К | М-10Г <sub>2</sub> К |
| В'язкість кінематична, мм <sup>2</sup> /с<br>при 100°С, в межах<br>при 0°С, не більше                 | 8±0,5<br>1200        | 11±0,5<br>-        | 8±0,5<br>1200        | 11±0,5<br>-        | 8±0,5<br>1200       | 11±0,5<br>-          |
| Індекс в'язкості, не менше  | 90                   | 90                 | 90                   | 90                 | 95                  | 90                   |
| Вміст механічних домішок,<br>%, не більше<br>води   | 0,015<br>Сліди       | 0,015<br>Сліди     | 0,015<br>Сліди       | 0,015<br>Сліди     | 0,015<br>Сліди      | 0,015<br>Сліди       |
| Температура, °С<br>спалахи, що визначаються у<br>відкритому тиглі, не нижче<br>охолодження, не більше | 200<br>-25           | 205<br>-15         | 200<br>-25           | 205<br>-15         | 200<br>-30          | 205<br>-15           |
| Лужне число, мг КОН на<br>1 кг масла  | 3,5                  | 3,5                | 6,0                  | 6,0                | 6,0                 | 6,0                  |

У перспективі для високофорсованих дизелів з наддувом, що працюють у особливо тяжких умовах, повинні використовуватися високоякісні масла, наприклад, групи П. У табл. 2.15 дані рекомендації з застосування олій для сучасних автомобілів і сільгосптехніки. Масла групи Г – М-8М<sub>2</sub>К та М-10М<sub>2</sub>ДО - призначені для дизелів з наддувом (буква “ДО” – позначення автомобілів сімейства КамАЗ), заміні не підлягають. В даний час вони є кращими маслами для дизелів.

Економічно доцільно збільшити випуск і відповідно використовувати загущені масла та масла поліпшеної якості. Збільшення виробництва високоякісних масел дозволить скоротити їх асортимент, одночасно значно зменшивши витрату. Такими маслами в даний час є масла групи Г (для дизелів — М-8М<sub>2</sub>К та М-10М<sub>2</sub>ДО).

## Моторні масла

*Таблиця 2.15*

Рекомендації по застосуванню сучасних моторних масел

| Марка масла  | Марка автомобіля, трактора, комбайна  | Замінник масла*   |
|--|---|---|
| <b>Масла для бензинових і газових двигунів</b>   |   |   |
| М-8В <sub>1</sub> (всесезонне)   | ЗМЗ-53, Москвич-408 та ін.  | М-8В <sub>1</sub>   |
| М-8В <sub>1</sub> (всесезонне)   | ГАЗ-53, ГАЗ-53А, ЗИЛ-130, ЗИЛ-131, Урал-375, УАЗ-451 та ін.   | В зимку – М-8Г <sub>1</sub><br>Літом – М-12Г <sub>1</sub>     |
| М-8Г <sub>1</sub> И або М-8Г <sub>1</sub> (зимове)   | ГАЗ-24, Москвич-412   | нема  |
| М-10Г <sub>1</sub> И або М-6 <sub>3</sub> /10Г <sub>2</sub> (всесезонне)<br>М-12Г <sub>1</sub> И чи М-12Г <sub>1</sub> (літнє) | ВАЗ-2101, ВАЗ-2102 та їх модифікації  | -   |
| <b>Масла для дизельних двигунів</b>  |   |   |
| М-8В <sub>2</sub> (зимове)<br>М-10В <sub>2</sub> (літнє)   | БелАЗ-540, МАЗ-500А, МАЗ-503А, МАЗ-504А, КрАЗ-255Б та ін., трактори і комбайни: Д-22, Д-37М, Д-37Е, Д-50  | В зимку – М-8Г <sub>2</sub><br>Літом – М-10Г <sub>2</sub>     |
| М-8Г <sub>2</sub> (зимове)   | Великонавантажені автомобілі БелАЗ-548А, МАЗ-537, МАЗ-343, МАЗ-515Б, Раба-МАН, “Вольво” та інша зарубіжна техніка, трактори і комбайни: СМД-60, СМД-62, СМД-64, Д-130, Д-144 та ін. | В зимку – М-8Г <sub>2</sub> К<br>Літом – М-10Г <sub>2</sub> К |
| М-8Г <sub>2</sub> К (зимове)<br>М-10Г <sub>2</sub> К (літнє)   | Автомобілі сімейства КамАЗ, автобуси “Икарус”, сільгосптехніка з двигунами КамАЗ, автомобілі ЛиАЗ   | Відсутній   |

Примітка: \* - строк служби замінників в 1,5...3,0 рази більший в порівнянні із строком служби рекомендованих масел.

У закордонних країнах моторні масла поділяються на різні сорти в залежності від їх в'язкості (класифікація SAE) і умов застосування (класифікація API).

Відповідно до класифікації SAE моторні масла поділяються на сорти, кожний з яких позначається номером, що характеризує в'язкість масла. Для зимових масел (SAE5W, 10W, 20W) регламентується в'язкість при  $-18^{\circ}\text{C}$  ( $0^{\circ}\text{F}$ ), а для літніх (SAE20, 30, 40, 50) — в'язкість при  $99^{\circ}\text{C}$  ( $210^{\circ}\text{F}$ ). Всесезонні масла, відповідно до класифікації SAE, маркуються подвійним номером, наприклад, SAE 10W/30. Це значить, що дане масло за в'язкістю при  $-18^{\circ}\text{C}$  відповідає сорту SAE 10, а при  $99^{\circ}\text{C}$  — сорту SAE-30.

У США, країнах ЄЕС, Японії, Австралії, Канаді і ряді інших країн введена в дію нова класифікація SAEJ300e (таблиця 2.16), відповідно до якої масла розділяють на зимові (позначаються буквою W та включають 6 класів) і літні (включають 4 класи).

Таблиця 2.16

Зарубіжна класифікація моторних масел за в'язкістю (SAEJ300e)

| Клас за SAE | В'язкість МПа·с*               | Гранична температура прокачування, $^{\circ}\text{C}$ ** | Кінематична в'язкість, $\text{мм}^2/\text{с}$ (при $100^{\circ}\text{C}$ )*** |           |
|-------------|--------------------------------|--|---|-----------|
|             |                                |  | не менше  | не більше |
| 1           | 2                              | 3  | 4   | 5         |
| 0W          | 3250 при $-30^{\circ}\text{C}$ | -35  | 3,8   | -         |
| 5W          | 3500 при $-25^{\circ}\text{C}$ | -30  | 3,8   | -         |
| 10W         | 3500 при $-20^{\circ}\text{C}$ | -25  | 4,1   | -         |
| 15W         | 3500 при $-15^{\circ}\text{C}$ | -20  | 5,6   | -         |
| 20W         | 4500 при $-10^{\circ}\text{C}$ | -15  | 5,6   | -         |
| 25W         | 6000 при $-5^{\circ}\text{C}$  | -10  | 9,3   | -         |
| 20          | -                              | -  | 5,6   | 9,3       |
| 30          | -                              | -  | 9,3   | 12,5      |

## Моторні масла

| <i>Продовження табл. 2.16</i> |   |   |      |      |
|-------------------------------|---|---|------|------|
| 1                             | 2 | 3 | 4    | 5    |
| 40                            | - |   | 12,5 | 16,3 |
| 50                            | - |   | 16,3 | 21,9 |

Примітка: \* - на приборі CCS (за модифікаційним методом ASTM D2602);

\*\* - за методом ASTM D3829;

\*\*\* - за методом ASTM D445.

За цією класифікацією для зимових масел регламентуються три показники: мінімальна кінематична в'язкість при 100 °С; динамічна в'язкість при низькій температурі і граничній температурі прокачуваності моторних масел. Для літніх масел регламентується мінімальна і максимальна кінематична в'язкість при 100°С. Класифікація включає моторні масла 10 класів, що відрізняються між собою в'язкісно-температурними характеристиками. Виробництво всесезонних моторних масел класифікація не обмежує, і вони можуть випускатися з різними в'язкісно-температурними характеристиками за умови одночасного задоволення нормам в'язкості одного з літніх і одного з зимових сортів моторних масел.

Пряме порівняння в'язкісно-температурних характеристик зимових і всесезонних моторних масел за класифікацією SAE300e і вітчизняних за ДСТ 17479.1-85 важко в зв'язку з розходженням у методиках оцінки в'язкості при низькій температурі і наявністю показника граничної температури прокачуваності масел в класифікації SAE300e.

Разом з тим, виходячи з даних показників масел, можна привести приблизну відповідність деяких всесезонних вітчизняних моторних масел за ДСТ 17479-72 і класифікації SAE300e:

**ДСТ 17479.1-85**

4з/6; 4з/8

4з/10

6з/10

**SAE300e**

SAE 10W/20

SAE 10W/30

SAE 15W/30; SAE 20W/30.

Відповідно до класифікації API (Американський нафтовий інститут), запропоновані у 1947 р. моторні масла поділяються на три групи: рядові (regular), преміальні (premium) і для тяжких умов роботи (heavy duty). До першої групи відносяться масла, призначені для бензинових і дизельних двигунів, які працюють у легких умовах експлуатації (в даний час ці масла практично не знаходять застосування). Масла другої групи призначені для двигунів середньої напруженості. Масла третьої групи використовуються для тяжких умов роботи. З появою більш форсованих двигунів були розроблені нові більш якісні сорти. Вони одержали найменування: масла Серії 1 (Supplement 1), Серії 2 (Series 2) і Серії 3 (Series 3). Масла Серії 1 призначаються для двигунів підвищеної напруженості, у тому числі і для дизелів, що працюють на паливі зі вмістом сірки до 1%. Масла Серії 2 рекомендуються для дизельних двигунів підвищеної напруженості, які працюють з наддувом, але на паливі із вмістом сірки до 0,4%. Масла Серії 3 призначені для дизелів, які працюють в особливо тяжких умовах (з наддувом і на паливі із вмістом сірки до 1%).

У 1980 році затверджена нова класифікація API, яка прийнята в багатьох закордонних країнах. Відповідно до цієї класифікації роботи двигунів ув'язані із експлуатаційними властивостями масел (таблиця 2.17).

Таблиця 2.17

Класифікація умов застосування масел API

| Позначення    | Умови застосування мастил  | Характеристика масла  |
|---------------|--|---|
| 1             | 2  | 3   |
| <i>Дизелі</i> |  |   |
| SA            | Двигуни, що працюють в легких умовах експлуатації на високоякісному паливі | Володіє миючими, протикорозійними і протизносними властивостями, необхідними для забезпечення роботи бензинових двигунів та дизелів без наддуву, що експлуатуються на малосірковому паливі (масла за специфікацією MIL-L-2104A) |

## Моторні масла

| <i>Продовження табл. 2.16.</i> |   |  |
|--------------------------------|---|--|
| 1                              | 2   | 3  |
| СВ                             | Двигуни без наддуву, які працюють в умовах експлуатації середньої напруженості на паливі з підвищеним вмістом сірки   | Володіє миючими, протикорозійними і протизносними властивостями, необхідними для забезпечення роботи дизелів без наддуву, що експлуатуються на сірковому паливі (масла за специфікацією MIL-L-2104A Сапплемент 1)      |
| СС                             | Двигуни з помірним наддувом, які працюють в тяжких умовах експлуатації  | Володіє миючими, протикорозійними властивостями, а також властивістю попереджувати утворення низькотемпературних відкладень та іржі деталей двигунів (масла за специфікацією MIL-L-2104В)                              |
| СD                             | Двигуни з наддувом, які працюють в тяжких умовах експлуатації і на паливі з підвищеним вмістом сірки                  | Володіє високими миючими, протикорозійними і протизносними властивостями, необхідними для забезпечення роботи дизелів з наддувом, які експлуатуються на сірковому паливі (масла за специфікацією MIL-L-45199В серії 3) |
| <i>Бензинові двигуни</i>       |   |  |
| SA                             | Двигуни, які працюють в дуже легких умовах експлуатації   | Без присадки або з добавкою депресорної та противопінної присадки  |
| SB                             | Двигуни, які працюють в легких умовах експлуатації  | Володіє антиокислюючими, протикорозійними і протизадирними властивостями, необхідними для забезпечення роботи двигунів старої конструкції  |
| SC                             | Двигуни, які працюють в умовах експлуатації середньої напруженості  | Володіє миючими, протизносними і протикорозійними властивостями, а також властивістю попереджувати утворення низькотемпературних відкладень і іржі деталей двигунів  |
| SD                             | Двигуни, які забезпечують підвищені вимоги до якості масла, які працюють в умовах експлуатації середньої напруженості | Володіє підвищеними миючими, протизносними і протикорозійними властивостями, а також властивістю попереджувати утворення низькотемпературних відкладень і іржі деталей двигунів  |

| <i>Продовження табл. 2.16.</i> |   |   |
|--------------------------------|---|---|
| 1                              | 2   | 3   |
| SE                             | Двигуни, які забезпечують підвищені вимоги до якості масла, які працюють в умовах експлуатації середньої напруженості       | Володіє високими антиокислюючими, миючими, протизносними і протикорозійними властивостями, а також властивістю попереджувати утворення низькотемпературних відкладень і іржі деталей двигунів |
| SF                             | Двигуни, які забезпечують особливо високі вимоги до якості мастила та працюють в умовах експлуатації середньої напруженості | Володіє високими антиокислюючими, миючими, протизносними і протикорозійними властивостями, а також властивістю попереджувати утворення низькотемпературних відкладень і іржі деталей двигунів |

Таблиця 2.18

## Співвідношення позначень в класифікації API

| Умови застосування масел за класифікацією API, що прийняті в 1980 р. | Специфікації, які регламентують якість моторних масел, що випускаються в США |
|--|--|
| <i>Дизелі</i>  |  |
| CA   | MIL-L-2104A  |
| CB   | MIL-L-2104A Сапплемент 1   |
| CC   | MIL-L-2104B*; MIL-L-46152**;<br>MIL-L-45162B***                              |
| CD   | MIL-L-45199B, Серія 3; MIL-L-2104C****                                       |
| <i>Бензинові двигуни</i>   |  |
| SA   | -  |
| SB   | -  |
| SC   | “Форд M2C 101-A”   |
| SD   | “Форд M2C 101-B”   |
| SE   | “Форд M2C 143-A”   |
| SF   | “Форд M2C 153-B”   |

Примітка: \* - універсальні масла (SC/CC);  
 \*\* - універсальні масла (SE/CC);  
 \*\*\* - універсальні масла (SF/CC);  
 \*\*\*\* - універсальні масла (CD/CC).

## Моторні масла

---

---

За цією класифікацією умови застосування масел позначаються двома буквами: перша характеризує тип двигуна (S – бензиновий, D - дизельний); друга (A, Y, Z, D, E, F) - рівень експлуатаційних властивостей моторних масел.

У таблиці 2.18 приведені порівняння позначень, прийнятих у класифікації API в різні роки, а також специфікації, що регламентують якість моторних масел, що випускаються в США для наземної техніки.

У США і західноєвропейських країнах частка масел для автомобільних та тракторних двигунів складає більш 50% від загального обсягу виробництва. В асортименті закордонних масел відбуваються значні зміни внаслідок жорсткості умов роботи масел в сучасних двигунах і в зв'язку з цим підвищуються вимоги до якості моторних масел. Наслідком цього розроблені довго працюючі масла для автомобільних бензинових двигунів, а також універсальні масла, придатні для використання як у форсованих автомобільних дизельних двигунах, так і у бензинових двигунах. Універсальні масла однаково, ефективно перешкоджають утворенню на деталях двигунів як високотемпературних, так і низькотемпературних вуглеводних відкладень.

Якість масел США та Англії для автомобільних і тракторних двигунів регламентується специфікаціями MIL-L-2104A і MIL-L-45199A (США); DE 2101B DE 2101C, DE 2101D і BS 1905/1965 (Англія). Аналогічні специфікації є й у інших країнах (Франції, Канаді, Бельгії, Австралії тощо). В таблиці 2.19 приведена специфікація MIL-L-2104A на масла типу heavy duty, призначені для бензинових і дизельних двигунів.

Таблиця 2.19

Вимоги специфікації MIL-L-2104A до фізико-хімічних властивостей масел

| Показники  | SAE 10W             | SAE 30                | SAE 50             |
|--|---------------------|-----------------------|--------------------|
| В'язкість, сст<br>при температурі 99°C<br>-18°C* | 5,44...7,29<br>2600 | 9,65...12,98<br>43000 | 16,83...22,75<br>- |
| Індекс в'язкості                                 | -                   | -                     | 75                 |
| Температура, °C:<br>спалаху<br>охолодження       | 182<br>-29          | 199<br>-18            | 204<br>-9          |

Примітка: \* - визначається екстраполяцією.

### 3.4. Взаємозамінність масел

Якщо відсутні масла необхідної марки, при їх заміні варто дотримуватися рекомендацій заводів-виготовлювачів, але ніколи не робити заміну маслами більш низької якості. Загальне правило при заміні масел таке: масла заміняють рівнов'язкими за якістю групою вище. Наприклад, при відсутності масла марки М-8В<sub>2</sub> його заміняють маслом М-8Г<sub>2</sub>, збільшивши термін служби останнього в 1,5...3 рази в залежності від умов експлуатації. Чим вище група масла, тим вище його нейтралізуючі властивості. Але з підвищенням групи масла збільшується його зольність; зольність масел для дизелів вище зольності масел для бензинових і газових двигунів (навіть у межах однієї групи). Підвищення зольності масел може викликати збільшення кількості відкладень у камері згорання, погіршити роботу свічок у двигунах з іскровим запалюванням, підвищити схильність до калільного запалення, збільшити можливість прогару поршнів, знос циліндро-поршневої групи. Чутливість різних двигунів до зольності масел неоднакова і залежить від багатьох факторів (такими факторами можуть бути температура, підвищення якої

веде до інтенсифікації нагароутворення, режим роботи двигуна тощо). Оскільки в камері згоряння бензинових двигунів температура вище в порівнянні з дизелями, не можна використовувати дизельні масла для бензинових двигунів (наприклад масла для автомобілів КамАЗ – М-8М<sub>2</sub>К та М-10М<sub>2</sub>ДО для автомобілів сімейства ВАЗ). У таких випадках, як правило, двигун продовжує працювати при виключеному запаленні, що свідчить про виникнення калільного запалення. А це спричиняє підвищений знос двигуна, перевитрату палива, підвищення токсичності газів, що відробили тощо.

Не дозволяється змішувати масла різних груп. Для змішування необхідно знати весь комплекс присадок, що входять в масла, які змішуються, тому що при змішуванні масел часто спостерігається несумісність присадок.

У США і ряді інших країн для масел використовується класифікація API, що поділяє їх тільки за умовами та областю застосування. Клас в'язкості указується відповідно до класифікації SAEJ300e.

Відповідно до класифікації API масла поділяються на дві категорії: S-категорія сервісу, призначена для легкових транспортних засобів, які використовуються в сфері обслуговування, тобто переважно бензинові і газові двигуни, і D – комерційна категорія, призначена для двигунів автомобілів, що здійснюють комерційні перевезення, для тягачів, будівельно-дорожніх машин, тобто переважно для дизельних двигунів. У залежності від умов роботи в кожній категорії масла поділяються на класи і позначаються двома буквами латинського алфавіту, які вказують категорію і клас масла. Універсальні масла мають маркування двох класів різних категорій, наприклад, SC/CB. Зразкова відповідність груп моторних масел за ДСТ 17479.1-85 класам API показаний у таблиці 2.20.

Таблиця 2.20

## Співвідношення масел різних класифікацій

| Україна        | Країни СЕВ     | API   |
|----------------|----------------|-------|
| Б <sub>1</sub> | В <sub>1</sub> | SC    |
| Б <sub>2</sub> | В <sub>2</sub> | CA    |
| В              | С              | SD/CB |
| В <sub>1</sub> | С <sub>1</sub> | SD    |
| В <sub>2</sub> | С <sub>2</sub> | CB    |
| Г              | Д              | SE/CC |
| Г <sub>1</sub> | Д <sub>1</sub> | SE    |
| Г <sub>2</sub> | Д <sub>2</sub> | CC    |

Співвідношення класів в'язкості моторних масел за ГОСТ 17479.1-85 та SAEJ300e приведено в таблиці 2.21.

Таблиця 2.21

Співвідношення класів в'язкості масел за  
ГОСТ 17479.1-85 та SAEJ300e

| ГОСТ 17479.1-85    | SAEJ300e |
|--------------------|----------|
| 6                  | 20       |
| 8                  | 20       |
| 10                 | 30       |
| 12                 | 30       |
| 3 <sub>3</sub> /8  | 5w/20    |
| 4 <sub>3</sub> /6  | 10w/20   |
| 4 <sub>3</sub> /8  | 10w/20   |
| 4 <sub>3</sub> /10 | 10w/30   |
| 5 <sub>3</sub> /10 | 15w/30   |
| 6 <sub>3</sub> /10 | 20w/30   |

Зниження в'язкості масла веде до зниження витрати палива. Наприклад, переведення автомобілів з масла SAE 30 на масло SAE 20W/30 зменшує витрату палива на 3,5%, а з масла SAE 30 на

масло SAE 10W/30 – на 6%. Застосування загущених масел дозволяє одержати значну економію палива, використання масел «Мобил-1» (синтетичне SAE 5W/20), Ессо Голд (SAE 10W/40 з дисульфідомолібденом), Арко Графіт (SAE 10W/40 з колоїдальним графітом) знижує витрату палива на 4...5%.

В таблиці 2.22 приведені приклади взаємозамінності вітчизняних і закордонних моторних масел.

### 3.5. Спрацьованість та заміна масел

В зв'язку з підвищенням потужності двигунів, зміною їх конструкції, ускладненням експлуатації умови роботи масел в сучасних двигунах вимоги до масел стали більш жорсткими. Однак терміни заміни масел безупинно збільшуються завдяки поліпшенню їх якості. Передчасна заміна масел економічно недоцільна, оскільки збільшуються їх витрати, витрати на технічне обслуговування, на запасні частини і тощо. Невиправдане збільшення термінів служби масел приводить до підвищеного зносу деталей двигуна, що знижує його надійність і збільшує рівень відмов в його роботі. Визначення оптимальної періодичності заміни масел є трудомісткою тривалою роботою, має важливе економічне і технічне значення

Періодичне додавання масел в процесі експлуатації частково відновлює його первинні властивості. Через визначений час масло підлягає повній заміні. Періодичність заміни залежить від властивостей масла, типу двигуна, його технічного стану, умов експлуатації, технічного стану масляної системи, способу фільтрації, палива, класності водія та інших параметрів. Необхідність повної заміни обумовлена втратою основних експлуатаційних якостей, тобто старінням масел. Основною причиною спрацьовання (старіння) масел, як зазначалося раніше, є окислюваність масел і спрацьованість присадок (рис. 2.9). Крім цього, відбувається забруднення масел твердими продуктами окислювання, вуглеводними часточками, пилом, піском, що попадають в масло ззовні, металевими часточками, що утворюються в резуль-

Таблиця 2.2.2

Взаємозамінність вітчизняних та зарубіжних моторних масел

| Марка автомобіля   | Марка масла  |   |  |  |
|--|--|---|--|--|
|  | Україна  | British pertroleum  | Mobil  | Shell  |
| ВАЗ-2101 та його модифікації,<br>ГАЗ-24 та його модифікації,<br>3АЗ-968, 968М та ін. | М-8Г <sub>1</sub> або М-8Г <sub>1</sub> И,<br>М-6 <sub>2</sub> /1-Г <sub>1</sub> або<br>М-10Г <sub>1</sub> И,<br>М-12Г <sub>1</sub> або М-12Г <sub>1</sub> И | BP Energol HD 20W;<br>30;<br>BR Super Viscostatic<br>10W/30                               | Mobil-HD 20W/20;<br>30; Mobil Super<br>10W/50 Mobil<br>Spezial 10W/30        | Shell X-100 20W; 30;<br>Shell Super Motor<br>Oil 10W/30 Shell<br>Rotella TX20W; 30S<br>10W/30  |
| Москвич: 1360, 2136, 2138, 2133, 2733<br>та ін.<br>ЗИЛ-130, ГАЗ-53 та ін.            | Те ж або М-8В <sub>1</sub><br>М-8В <sub>1</sub> , М-6 <sub>3</sub> /10В <sub>1</sub> ,<br>М-12Г <sub>1</sub>   | BP Energol HD 20W;<br>30; BP Energol HD<br>10W; 20W; 30<br>BP Super Viscostatic<br>10W/30 | Mobil-HD 20W/20;<br>30;<br>Mobil-HD 10W;<br>20W; 20; Mobil<br>Spezial 10W/30 | Shell X-100 20W; 30<br>Shell Rotella S20W;<br>30; Shell X-100 10W;<br>20W; 30; Shell<br>Rotella S10W; 20W;<br>30; Shell Rotella<br>M10W/30 |
| МАЗ-500, МАЗ-503,<br>КрАЗ-255, КрАЗ-256 та ін.<br>БелАЗ-548А та ін.                  | М-8В <sub>2</sub><br>М-10В <sub>2</sub><br>М-8Г <sub>2</sub><br>М-10Г <sub>2</sub>   | BP Vanellus 20W; 30   | Mobil Delvac<br>1120, 1130   | Shell Rotella чи<br>Rotella S20W; 30   |
| КамАЗ та його модифікації  | М-8Г <sub>2</sub><br>М-10Г <sub>2</sub>  | Те ж та BP Vanellus<br>Multigrade 10W/30  | Те ж та Mobil<br>Delvac Spezial<br>10W/30                                    | Shell Rotella TX<br>20W; 30 та 10W/30  |

## Моторні масла

таті зносу деталей двигуна, і продуктами корозії металів, незгорілим паливом, сірчистими з'єднаннями, що містяться у відпрацьованих газах, водою, утвореною при конденсації відпрацьованих газів або при попадає ззовні з повітрям, а також випари легких фракцій масел.

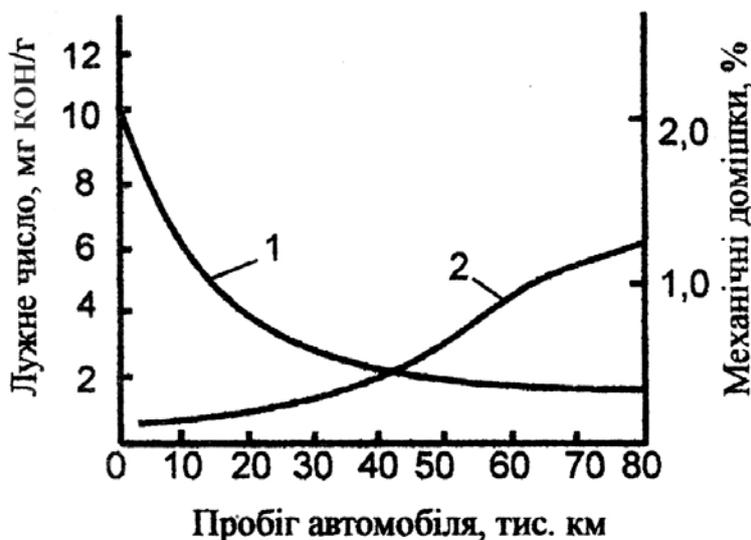


Рис. 2.9. Старіння моторного масла М-63/10М<sub>1</sub> в умовах міської експлуатації легкового автомобіля:  
1 – лужне число; 2 – механічні домішки

Забруднення масла відбувається в процесі його транспортування, зберігання і заправлення. Кількість механічних домішок в маслі може складати 0,2%. При такому забрудненні під час заправлення двигуна автомобіля, кількість нерозчинних в маслі механічних домішок досягає 10 г.

Домішки, що попадають ззовні і утворюються в процесі експлуатації масел, змінюють характер тертя, засмічують масляні фільтри і канали, збільшують температурний режим роботи деталей двигуна, викликають їх підвищений знос.

Забруднення масел домішками викликається підвищенням прориву газів у масляний картер, а також продуктами неповного згорання палива (табл. 2.23). Підвищений зміст механічних домішок в маслі свідчить про поганий технічний стан системи фільтрації. В результаті використання повнопоточного тонкого

очищення моторного масла знос основних деталей двигуна знижується в 2...3 рази і значно збільшується термін служби моторного масла.

Таблиця 2.23

Вміст забруднюючих домішок в маслі, прорив газів в картер та угар масла в бензиновому двигуні різноманітного ступеня зношеності

| Технічний стан двигуна                 | Вміст забруднюючих домішок в мастилі, % | Середній прорив газів в картері, м <sup>3</sup> /год | Середній угар мастила, г/год |
|--|---|--|------------------------------|
| Новий                                  | 1,22                                    | 1,6  | 63                           |
| Зношений                               | 3,84                                    | 6,0  | 258                          |
| Зношений після зміни поршнів та кілець | 2,78                                    | 3,6  | 171                          |

Сучасні двигуни характеризуються зменшенням обсягів масляної системи, що збільшує продуктивність масляних насосів і кратність циркуляції масла в двигуні. Останнє підвищує насичення масла повітрям, що у свою чергу веде до збільшення швидкості окислювання масла і підвищенню зносів (рис. 2.10).

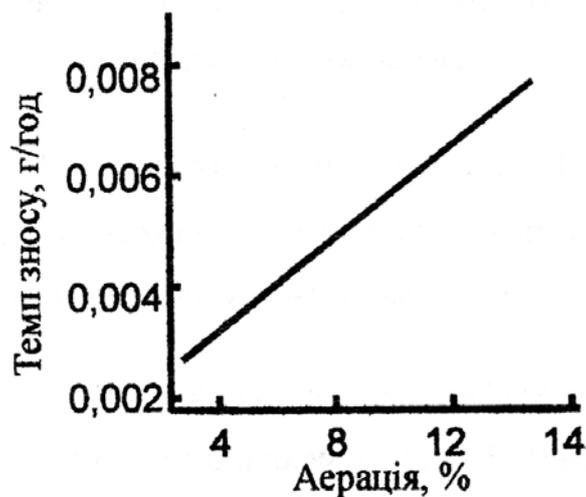


Рис. 2.10. Темп зносу вкладишів підшипників колінчастого вала автомобільного двигуна в залежності від його аерації

## Моторні масла

---

---

Поряд з експлуатацією на форсованих режимах для багатьох автомобілів характерна робота двигуна з частими зупинками, тривалою роботою на холостому ходу. У міських умовах двигуни працюють близько 80% часу на часткових навантаженнях. При такій експлуатації, особливо в зимовий період часу, двигуни працюють на низькотемпературних режимах. Наприклад, в міських умовах при температурі навколишнього повітря  $-10...-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  та поїздки на відстань до 12...20 км температура охолоджувальної рідини в системі охолодження складає близько  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . При знижених теплових режимах роботи двигуна збільшується швидкість утворення низькотемпературних осадів, забруднення масла внаслідок неповного згоряння палива і підвищеної конденсації водяних парів.

Тривала робота двигуна на знижених режимах приводить до забруднення поршнів, кілець, підвищеній витраті масла внаслідок збільшення його чаду. Відносна витрата масла в залежності від стану маслозйомних кілець і зношеності двигуна приблизно наступний, %:

Двигун:

|   |      |
|---|------|
| - новий, після обкатування                              | 100  |
| - новий із забитими прорізами маслозйомних кілець       | 460  |
| - зношений  | 722  |
| - зношений із забитими прорізами<br>маслозйомних кілець | 4408 |

Істотний вплив у дизелях на утворення вуглеводних і інших відкладень здійснює паливо. У відпрацьованих газах дизелів, міститься значна кількість сажі. Кількість сажі, що попадає в масло, наприклад, у двигуні типу ЯМЗ-238 за 200 годин роботи може складати від 60...70 до 500...600 гр. Чим гірший технічний стан двигуна, тим більше сажі міститься у відпрацьованих газах і тим більше попадає їх в масло.

Склад, а також кількість відкладень на деталях двигуна веде до серйозних порушень у його роботі і може служити причиною виходу з ладу.

Вплив палива на кількість органічних відкладень в маслі різко зменшується при роботі двигуна на газоподібному паливі. Так, домішок в маслі дизельних двигунів у 5 разів більше, ніж у бензинових і в 10...20 разів більше, ніж в маслах двигунів, які працюють на газоподібному паливі. За даними НАМИ, в маслі двигуна, що працює на газоподібному паливі, після 10000 км пробігу домішок значно менше, ніж після 5000 км пробігу того ж автомобіля, що працює на бензині; в маслі автомобіля, що працює на газоподібному паливі, після 5000 км пробігу кількість домішок складала 0,4%.

Старіння масла приводить до закоксовування поршневих кілець, їх пригоранню, втрати рухливості; підвищенню температури деталей циліндро-поршневої групи через погіршення тепловідводу; заклинюванню клапанів у направляючих втулках; прогару клапанів; зменшенню прохідного перетину впускного і випускного трактів; забрудненню сіток маслоприймачів насосів, фільтрів, масляних каналів системи мащення, дренажних отворів у маслозйомних кільцях і поршні; зміні в'язкості масла; підвищенню корозійного зносу деталей циліндро-поршневої групи; абразивному зносу деталей твердими часточками домішок; корозії підшипникових сплавів та іржавінню залізвмісних деталей.

Фільтруючі елементи, вентиляція картера сповільнюють, але не запобігають старінню масел. Періодичність заміни масел встановлюється на основі ретельного вивчення експлуатаційних властивостей масел, їх заміни в процесі експлуатації. В останні роки, автотракторний парк істотно модернізований, використовуються якісні нові масла. Прийнята в даний час періодичність заміни масел недостатньо теоретично і практично обґрунтована, тому що лише частково враховує досвід експлуатації нової техніки. Тому потрібно корегування термінів заміни масел, встановлюваних заводом-виготовлювачем, після накопичення і вивчення достатніх експлуатаційних результатів. Встановлення термінів заміни масел за зміною кольору в даний час не представляється можливим. Масло чорніє через кілька десят-

258

## Моторні масла

---

---

ків годин роботи внаслідок припрацювання присадок. Незважаючи на чорний колір, масло володіє високими експлуатаційними показниками якості.

Для повсякденного контролю за якістю працюючого масла не годяться такі методи, як визначення змісту продуктів зносу і визначення лужності, хоча ці аналізи є найбільш обґрунтованими і достовірними для визначення стану спрацювання масел.

Терміни роботи масел встановлюються виходячи з економічної і технічної доцільності. Тривалість роботи масел в двигунах, що працюють на газоподібному паливі, у 2 рази більше в порівнянні з тривалістю роботи масел у двигунах, які працюють на рідкому паливі. При роботі двигуна на етилованому бензині термін служби моторного масла знижується в 1,5...2 рази в порівнянні з терміном служби масла, що працює в двигуні на неетилованому бензині.

Згідно з наказом Міністерства транспорту України №48 від 10.05.90 р., встановлені тимчасові норми витрати моторних масел для автомобільного транспорту. Норми витрати масел (літрів) на 100 літрів витрати рідкого палива і зрідженого нафтового газу і 100 м<sup>3</sup> стиснутого природного газу наступні:

1. Автомобілі, що працюють на бензині, зрідженому нафтовому і стиснутому природному газі – 2,4;
2. Автомобілі, що працюють на дизельному паливі – 3,2;
3. Автомобілі, обладнані гідромеханічними коробками передач (БелАЗ, МоАЗ) – 5,9.

При цьому, для автомобілів Волзького автомобільного заводу всіх марок норма витрати моторних масел встановлюється в розмірі 0,8 літра на 100 літрів загальної витрати палива. Норми витрати моторних масел знижуються для автомобілів (крім автомобілів ВАЗ), що знаходяться в експлуатації до трьох років, на 50% і збільшується для автомобілів, що знаходяться в експлуатації від восьми років - до 20%.

## 4. ТРАНСМІСІЙНІ МАСЛА

- 4.1. Умови роботи та вимоги до трансмісійних масел*
- 4.2. Основні властивості трансмісійних масел*
- 4.3. Класифікація та асортимент трансмісійних масел*
- 4.4. Масла для гідромеханічних передач*
- 4.5. Закордонні трансмісійні масла*

### 4.1. Умови роботи та вимоги до трансмісійних масел

Область використання трансмісійних масел досить широка. Їх використовують в коробках передач, ведучих мостах, бортових передачах, роздаточних коробках, механізмах рульового керування тракторів, комбайнів, самохідних шасі, автомобілів. Основні призначення трансмісійних масел ті ж що і в моторних: зниження зносу зубчастих зачеплень, зменшення затрат енергії на подолання тертя, відвід тепла від деталей і запобігання корозії. Крім цих основних функцій вони повинні знижувати дію ударних навантажень, зменшувати шум та вібрацію шестерень, ущільнювати зазори в сальниках і різних з'єднаннях.

В тракторо- і автобудуванні все ширше впроваджують гідротрансмісії, в яких масло служить робочим середовищем, яке передає крутний момент від двигуна на ведучі системи машин. Крім того, спеціальними маслами заповнюють різні регулюючі пристосування.

Трансмісійні масла працюють в умовах високих питомих тисків і швидкостей ковзання в широкому діапазоні температур. В зубчастих передачах значення тисків в зоні зачеплення складає 200...600 МПа, у спірально-конічних передачах –

## Трансмісійні масла

---

---

1000...2000 МПа. Особливо тяжкі умови роботи масел в гіпоїдних передачах. В цих передачах наряду з великим значенням питомих напружень – близько 4000 МПа проходить відносно ковзання зубів з швидкістю 5...10 м/с. Масла працюючі в таких умовах, повинні мати міцну масляну плівку. З цією метою у склад гіпоїдних масел вводять «осірнення» рослинні масла та сірко-, фосфоро- і хлоровмісні присадки.

Крім попередження стирання, задирів, виникнення втомного викришування поверхонь тертя, трансмісійні масла повинні відповідати загальним вимогам, які пред'являються до змащувальних масел. Під дією високого тиску в зоні контакту різко підвищується температура. Так в зоні контакту зубців вона досягає 350...400°C. Тому масла повинні мати високі антиокислювальні і антикорозійні властивості. Трансмісійні масла працюють в широкому діапазоні температур і повинні мати добрі в'язкісно-температурні властивості. Максимальне значення в'язкості трансмісійних масел, з метою забезпечення оптимального тертя в автомобілях без попереднього розігріву масла в агрегатах, повинно складати 350...450 Пас для спіральних-конічних передач; 500...600 Пас для гіпоїдних передач.

В процесі роботи трансмісійні масла окислюються, забруднюються, спрацьовуються присадки, після чого масла необхідно замінювати. Строки заміни різні в залежності від марки масла, автомобіля, трактора і т.д., умов експлуатації, якості масла, сезонності і т.д. В сучасних легкових автомобілях масла замінюють, як правило, при пробігу від 24 до 50 тис. км. В деяких автомобілях закордонних марок заміна масла не проводиться на протязі всього строку служби, частіше всього в ведучих мостах легкових автомобілів з гіпоїдними передачами. У вітчизняних вантажних автомобілях заміна трансмісійних масел здійснюється, в залежності від конкретних умов, через 20...50 тис. км. пробігу, не рідше одного разу на рік.

Високі експлуатаційні властивості трансмісійних присадок забезпечуються введенням в деякі марки рослинних масел. Більш широке застосування знаходять згущенні масла. Щоб ро-

бота механізмів і вузлів трансмісії була надійною і довговічною в умовах експлуатації, трансмісійні масла повинні відповідати наступним основним умовам:

- зменшувати знос робочих поверхонь зубів шестерень та других високонантажених деталей;
- знижувати втрати на тертя в зубчастих передачах;
- добре відводити тепло і виводити з поверхонь тертя продукти зносу та інші сторонні механічні домішки;
- не викликати корозію деталей;
- не вспінюватися в процесі роботи зубчастих передач;
- як можна довше зберігати при експлуатації свої властивості;
- повністю виконувати свої функції в різних умовах експлуатації, в широкому діапазоні різних взаємодій.

#### **4.2. Основні властивості трансмісійних масел**

Властивості трансмісійних масел оцінюються відповідними фізико-хімічними показниками: в'язкістю, в'язкісно-температурною характеристикою, температурою застигання, корозійністю, вмістом механічних домішок та води, змащувальними властивостями тощо.

*В'язкісно-температурна характеристика* відображає залежність в'язкості трансмісійних масел від температури. Оскільки ці масла являються залишковими високомолекулярними з'єднаннями, які мають велику кількість смолистих речовин із зниженими температурними характеристиками у них різко зростає в'язкість, що в свою чергу, викликає значні витрати потужності на подолання в вузлах трансмісії (особливо при зрушенні машин з місця). Гранична в'язкість масла, при якій можливе повертання механізмів автомобільних і тракторних трансмісій, складає біля 5000 сСТ.

Експлуатація машин (особливо в зимовий період) значно легше, якщо трансмісійне масло володіє оптимальною в'язкістю і

## Трансмiсiйнi масла

пологою в'язкiсно-температурною характеристикою. На рис. 2.11 показана залежнiсть тягового зусилля  $P$ , необхідного для забезпечення руху автомобiля ГАЗ-53А i ЗИЛ-130, в залежностi вiд сорту трансмiсiйного масла i його температури в трансмiсiї.

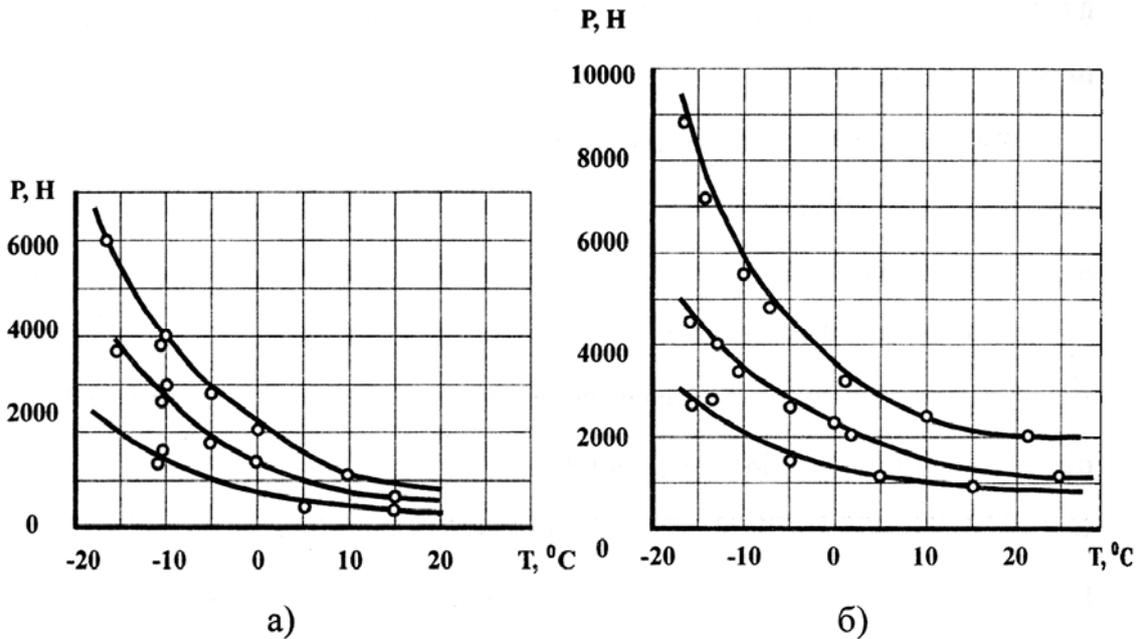


Рис. 2.11. Залежнiсть тягового зусилля необхідного для забезпечення руху автомобiля ГАЗ-53А i ЗИЛ-130 в залежностi вiд сорту трансмiсiйного масла i його температури в трансмiсiї:

а) для автомобiля ГАЗ 53А; б) для автомобiля ЗИЛ – 130:

1 – лiтнє трансмiсiйне автотракторне масло; 2 – зимове трансмiсiйне автотракторне масло; 3 – зимове з додаванням 18 % дизельного палива

В даному випадку значення тягового зусилля характеризує суму опорiв провертання механiзмiв трансмiсiї i якiсть колiс автомобiля. Якщо роздiлити цi опори, то виявляється, що для трансмiсiйного зимового масла (крива 2) при температурi  $-10$  °С бiля 80 % тягового зусилля складають витрати на подолання опору в механiзмi трансмiсiї i тiльки бiля 20% - на подолання опору коченню колiс автомобiля та механiзмiв трансмiсiї.

Великi витрати потужностi в механiзмах трансмiсiї (особливо в зимових умовах, якщо в'язкiсно-температурнi характеристики трансмiсiйних масел не вiдповiдають необхідним потре-

---

---

бам) приводять до значного погіршення економічності автомобілів.

*Протизносні і протизадирчні властивості* трансмісійного масла являються їх однією з основних характеристик. При відповідній змащувальній властивості масла на поверхнях тертя зубів шестерень утворюється масляна плівка, яка запобігає зварюванню, утворенню задирів та мікронерівностей. Це пояснюється вмістом, в невеликих кількостях, поверхнево-активних речовин у високосмолистих залишкових нафтопродуктах, з яких і отримують трансмісійні масла. Крім того для підсилення протизадирних властивостей в масла добувають спеціальні присадки, куди входять з'єднання хлору, фосфору, сірки. Дані речовини взаємодіють з металом, при великих тисках і високих температурах утворюють відповідні плівки оксидів, які зберігають металічні поверхні від скачування в точках контакту.

Так як температура масла в картерах механізмів трансмісії машин значно нижча, ніж в двигунах, трансмісійні масла, не дивлячись на неглибоку очистку, є порівняно стабільними при роботі.

В якості протизносних і протизадирних присадок до трансмісійних масел додають:

- ЛЗ-6/9 дибутилсанта́нт етилену із вмістом 38...41% сірки (при низьких температурах ця присадка випадає в осад, що робить неможливим її застосування у північних районах):

- ЄЗ-2, ЄЗ-5, ЄЗН-2 – продукт обробки касторового масла сірчаною кислотою з п'ятисірністим хлором;

- ОТП – осенентетрапропілен, отриманий осірінням фракції олефинових полімерів (вміст біля 20 % сірки);

- ЄФО – продукт взаємодії екстракту фекольного очищення залишкових масел з п'ятисірністим фосфором.

Дані присадки додаються до масел в кількості не більше 5%.

*Температура застигання* є важливим показником, що характеризує використання трансмісійного масла в зимових умовах. Для пониження температури застигання отримала широке

використання присадка-деприсор Аз НИИ, яку додають в масло в кількості 0,2...0,5 %.

*Протиерозійні властивості* трансмісійних масел тим кращі, чим більша в них водорозчинність кислот і лугів. На відміну від інших видів нафтопродуктів вміст сірки в трансмісійному маслі позитивно впливає на протизадирні і протизносні властивості і тому не характеризує корозійну взаємодію.

*Невспінюваність* також відноситься до основних властивостей трансмісійного масла, оскільки відтворення пухирків повітря в маслі різко погіршує його протизносні і протизадирні властивості.

При вмісті води і абразивних механічних домішок трансмісійні масла вважаються непридатними і тому не допускаються до використання.

### 4.3. Класифікація та асортимент трансмісійних масел

Згідно ГОСТ 17479.2-85 на трансмісійні масла, стосовно змазування агрегатів трансмісій автомобілів, тракторів, тепловозів, сільськогосподарських, дорожніх, будівельних машин і судової техніки, введено позначення, яке складається із групи знаків, перша із яких позначається буквами ТМ (трансмісійне масло), друга – цифрами і характеризує приналежність масла до групи за експлуатаційними властивостями. Тертя – позначається також цифрами і характеризує клас кінематичної в'язкості. Наприклад, ТМ-5-9з, де ТМ – трансмісійне масло, 5 – група масла за експлуатаційними властивостями, 9 – клас в'язкості, 3 – масло має загущуючу присадку.

В залежності від кінематичної в'язкості (в  $\text{мм}^2/\text{с}$ ) при температурі 100 °С трансмісійні масла ділять на наступні класи (табл. 2.24).

Таблиця 2.24

## Класифікація трансмісійних масел за в'язкістю

| Клас в'язкості | Кінематична в'язкість при температурі 273 °С, мм <sup>2</sup> /с | Температура, при якій динамічна в'язкість не перевищує 150 Па с, °С не вище |
|----------------|--|---|
| 1              | 2  | 3   |
| 9              | 6,0...10,99  | -35 °С  |
| 12             | 11,0...13,99   | -26 °С  |
| 18             | 14,0...24,99   | -18 °С  |
| 34             | 25,0...41,0  | -   |

У кожному класі встановлені допустимі границі кінематичної в'язкості при 273 °С та негативна температура, при якій ще забезпечується надійна робота трансмісій, бо динамічна в'язкість при цій температурі не перевищує 150 Пас.

Залежно від експлуатаційних властивостей та рекомендованих галузей застосування трансмісійного масла для автомобілів, тракторів та іншої мобільної техніки віднесені до 5 груп (табл. 2.25).

Таблиця 2.25

## Класифікація трансмісійних масел за експлуатаційними властивостями

| Група масла | Склад масла                           | Рекомендована область застосування   |
|-------------|---------------------------------------|--|
| 1           | 2                                     | 3  |
| ТМ-1        | Нафтові мінеральні масла без присадок | Циліндричні, конічні та черв'ячні передачі, що працюють при контактних напруженнях від 900 до 1600 МПа та температурі масла в об'ємі до 90 °С. |

## Трансмiсiйнi масла

| <i>Продовження табл. 2.25.</i> |  |   |
|--------------------------------|--|---|
| 1                              | 2  | 3   |
| ТМ-2                           | Мiнеральнi масла з протиспрацювальними присадками  | Цилiндричнi, конiчнi та червячнi передачi, що працюють при контактних напруженнях до 2100 МПа та температурi масла в об'ємi до 130 °С                     |
| ТМ-3                           | Мiнеральнi масла з протизадирними присадками помiрної ефективностi   | Цилiндричнi, конiчнi, спiрально-конiчнi та гiпоiднi передачi, якi працюють при контактних напруженнях до 2500 МПа i температурi масла в об'ємi до 150 °С. |
| ТМ -4                          | Мiнеральнi масла з протизадирним присадками  | Цилiндричнi, спiрально-конiчнi i гiпоiднi передачi, якi працюють при контактних напруженнях до 3000 МПа i температурi масла в об'ємi до 150 °С.           |
| ТМ-5                           | Мiнеральнi масла з протизадирними присадками високої ефективностi й багатофункцiональної дiї, а також унiверсальнi масла | Гiпоiднi передачi, що працюють з ударними навантаженнями при контактному напруженнi бiльш 3000 МПа i температурi масла в об'ємi до 150 °С                 |

Нижче проводиться перелiк трансмiсiйних масел, якi широко застосовуються в автотракторнiй технiцi.

Масло ТАП – 15 В (ГОСТ 23652- 79), або ТМ-3-18 (ГОСТ 17479.2-85) виготовлено iз сумiшi екстрактiв залишкових масел фенольного очищення i дистилатних масел або фiльтруванням обезмасленого парафiну. Вмiщує протизадирну i деприсорну присадки. Рекомендується для спiрально-конiчних i цилiндричних передач в середнiй клiматичнiй зонi. Масло має невисокi протизадирнi i поганi низькотемпературнi властивостi. Так, досвiд експлуатацiї показав, що при температурi – 10 °С, в'язкiсть масла в задньому мостi автомобiля ЗИЛ-130 досягає

30...104 мм<sup>2</sup>/с, ККД трансмісії знижується на 50%, витрата палива зменшується в 2 рази.

За специфікацією США масло ТАП-15В відповідає маслу MIL -2105 з класом в'язкості SAE-90, по групі API-GL-3.

Масло ТСП-10 (ГОСТ 23652-79), або ТМ -3-9 (ГОСТ 17479.2-85), виготовлено із суміші деасфальтизата ембенської нафти з малов'язким низькозастигаючим компонентом. Має протизадирну, деприсійну і антипінну присадки. Рекомендується для спіральних-конічних, конічних і циліндричних передач автомобілів та інших машин як всесезонне масло для районів Півночі або в якості зимового; працездатне при температурі до - 45 °С.

За специфікацією США масло ТСП-10 відповідає маслу MIL -2105 з класом в'язкості SAE-90, по групі API-GL-3.

Найбільше розповсюдження в Україні одержали трансмісійні масла в'язкості 18, що випускають згідно до ГОСТ 23652-79. Фізико-хімічні та експлуатаційні властивості яких, при ведені в табл. 2.26.

Таблиця 2.26

Фізико-хімічні та експлуатаційні властивості трансмісійних масел

| Показники   | ТЄ-15 | ТСП-15К | ТАП-15В                         | ТСП-14тип | ТАД-17И   |
|---|-------|---------|---------------------------------|-----------|-----------|
| 1   | 2     | 3       | 4                               | 5         | 6         |
| Кінематична в'язкість при 375 °К, мм <sup>2</sup> /с. | 15+1  | 16      | 15+1                            | 14        | 17,5      |
| Індекс в'язкості, не менше                            | -     | 90      | -                               | 85        | 100       |
| Температура застигання, °К не вище                    | 255   | 248     | 253                             | 248       | 248       |
| Масова доля: Активних елементів, % не менше:          | 0,06  | -       | -                               | -         | 0,1       |
| Фосфору   |       |         |                                 |           |           |
| Сірки   | 3,0   | -       | 1,2(з ОТП)<br>1,9<br>(з ПЗ-23К) | -         | 2,7...3,0 |

## Трансмiсiйнi масла

| <i>Продовження табл. 2.26.</i>   |                           |                               |                               |                               |                              |
|--|---------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| 1  | 2                         | 3                             | 4                             | 5                             | 6                            |
| Змашувальнi властивостi на ЧКМ:<br>- iндекс задиру ИЗ, не менше<br>- навантаження Pс, Н<br>- показник спрацювання Дн при осьовому навантаженнi 392 Н при 20 +5С протягом 1 год, мм, не бiльше<br>- густина при 20 С, кг/м <sup>3</sup> , не бiльше | -<br>-<br><br>0,55<br>950 | 55<br>3479<br><br>0,50<br>910 | 50<br>3283<br><br>(* )<br>930 | 60<br>3920<br><br>(* )<br>910 | 58<br>3687<br><br>0,4<br>907 |

Примiтка: \* - показник не нормується. Визначення обов'язкове.

Рекомендацiї щодо застосування масел у трансмiсiях тракторiв та автомобiлiв наведенi в табл. 2.27 та 2.28.

*Таблиця 2.27*

Масла, що використовуються в трансмiсiях тракторiв

| <b>Трактор</b>   | <b>Коробка передач</b>  | <b>Трансмiсiя</b>                                     |
|--|---|---|
| Т-150, Т-150К<br><br>К-130, Т-100М,<br>Т-4А, МТЗ-<br>усiх модифiкацiй<br>ДТ усiх модифiкацiй,<br>Т-40С, Т-40м, Т-28х<br>4/х4М, Т-25А,<br>Т- 25 А1, Т-16м | Моторнi масти-<br>ла групи В<br><br>Моторнi мастила<br>групи В<br>ТАП-15В<br>ТЄП-15 | ТАП-15,<br>Тєп-15, ТСП-10<br><br><br>ТСП-10<br>ТСП-10 |

Таблиця 2.27

Масла, що використовують в трансмісійних автомобілів

| Автомобіль  | Коробка передач      | Трансмісія                         |
|---|----------------------|------------------------------------|
| ЗИЛ-130, ЗИЛ-131, ЗИЛ-138А,<br>ЗИЛ-ММЗ-555        | ТАП-15В              | ТС <sub>П</sub> -15К               |
| КамАЗ всіх модифікацій                            | ТС <sub>П</sub> -15К | ТС <sub>П</sub> -15К               |
| КрАЗ, Урал, МАЗ всіх модифікацій                  | ТС <sub>П</sub> -15К | ТАП-15В                            |
| Інші вантажні автомобілі і автобуси               | ТАП-15В              | ТАП-15В                            |
| ГАЗ-24, ГАЗ-3110 та їх модиф., РАФ-977М, ЕрАЗ-762 | ТАП-15В              | ТС <sub>П</sub> -14 <sub>тип</sub> |
| Москвич та ЗАЗ всіх модифікацій                   | ТАД-17И<br>ТАП-15В   | ТАД-11И<br>ТАП-15В                 |
| ВАЗ всіх модифікацій                              | ТАД-11И              | ТАД-17И                            |

Відповідність позначення трансмісійних масел ГОСТ 17479.2 – 85 прийому їх позначень наведена в табл. 2.29.

Таблиця 2.29

Відповідність позначень трансмісійних масел за ГОСТ 17479.2-85 прийнятій нормативно-технічній документації

| ГОСТ 17479.2-85 |             | Гранично допустимі параметри роботи |                 | Прийняте позначення масел                              |
|-----------------|-------------|-------------------------------------|-----------------|--|
| Група           | Клас (сорт) | Тиск, МПа                           | Температура, °С |  |
| 1               | 2           | 3                                   | 4               | 5  |
| ТМ-2            | 18 (9)      | До 2000                             | До 120          | ТЄ-15*   |
| ТМ-3            | 18 (9)      | Більше 2000                         | Вище 120        | ТС <sub>П</sub> -10<br>ТАП-15В<br>ТС <sub>П</sub> -15К |

## Трансмiсiйнi масла

| <i>Продовження табл. 2.29.</i> |         |  |                         |                                  |
|--------------------------------|---------|--|-------------------------|----------------------------------|
| 1                              | 2       | 3  | 4                       | 5                                |
| ТМ-4                           | 18 (12) | Для<br>гепiйдних<br>передач  | В об'ємi не<br>вище 135 | ТСП-14*<br>ТСз-9гип<br>ТС-14гип* |
| ТМ-5                           | 18      | Для<br>гiпоiйдних<br>передач,<br>працюючих<br>при високих<br>ударних<br>наванта-<br>женнях i<br>швидкостях | Вище 135                | ТМ5-12РК<br>ТАД-17И              |

Примiтка \* - не допускається до використання у розробленiй i модер-  
нiзованiй технiцi

### 4.4. Масла для гiдромеханiчних передач

В сучаснiй автотракторнiй технiцi все бiльше розповсюдження одержують гiдромеханiчнi передачi (ГМП), що об'єднуються в одному агрегатi: гiдроприводi, механiчнiй коробцi передач та складнiй системi автоматичного регулювання. У ГМП, як i в механiчних трансмiсiях, умови роботи масла характеризуються iнтервалом робочих температур, високими навантаженнями та швидкостями ковзання у мiсцях контакту шестерень. До якостi змащувальних матерiалiв для ГМП ставлять складнi та жорсткi вимоги, що значно вiдрiзняються вiд вимог до звичайних трансмiсiйних масел. Перш за все це вiдноситься до в'язкiсних, протиспрацювальних, фрикцiйних, антиокислювальних та iнших властивостей.

При виборi масла для ГМП його в'язкiсть є однiєю з найважливиших експлуатацiйних характеристик. Це обумовлено необхіднiстю одержання високого коефiцiєнту корисної дiї

---

---

(ККД) гідротрансформатора у великому інтервалі можливих робочих температур. Для створення умов нормальної роботи ГМП з найбільшими ККД та коефіцієнтом трансформації, масло для ГМП повинно мати якомога меншу в'язкість. При використанні малов'язких масел поліпшується паливна економічність і робота автоматичної системи керування ГМП. З другого боку, для забезпечення високої змащувальної властивості особливо зубчастих передач та підшипників для запобігання витокам масел через ущільнення, масло повинно бути відносно в'язким. Масла для ГМП повинні мати також високий індекс в'язкості. Вимоги до низькотемпературних властивостей масел обумовлені необхідністю забезпечення можливості легкого запуску двигуна при низьких температурах навколишнього середовища.

В ГМП є високо навантажені вузли тертя (зубчасті передачі, підшипники, муфти вільного ходу, плунжерні пари та інші тертьові деталі), тому для цього необхідно використовувати масла, які мають високі протиспрацювальні характеристики. Однак для ГМП, що мають фрикційні диски розробка масел з добрими протиспрацювальними властивостями ускладнена. Це викликано тим, що надійна робота фрикціонів може бути забезпечена маслом з необхідними фрикційними властивостями, які забезпечують контактування дисків з відносно високим коефіцієнтом тертя (від 0,1 до 0,2).

Висока температура масла в ГМП, яка досягає 373..393 °К і вище, при контакті масла із різноманітними катамічно-активними металами та киснем повітря викликає інтенсивне його окислення. Внаслідок накопичення в маслі продуктів окислення порушується робота системи автоматичного керування фрикційних дисків та підвищення спрацювання деталей ГМП. Для запобігання окисленню та відкладенню осадів на деталях ГМП в маслах поряд з антиокислювальними вводять додатково миючодиспергуючі присадки. Поряд з високою окислювальною стабільністю масла для ГМП повинні мати добрі антикорозійні та антипінні властивості, бути сумісними з різними ущільнюючими матеріалами.

## Трансмiсiйнi масла

Для ГМП масла виготовляють iз малов'язких фракцiй сiрчистих парафiнистих нафт шляхом iх селективної очистки та глибокої депарафiнiзацiї, а пiсля цього загущують в'язкiсними присадками. Випускають три марки для ГМП, характеристика яких наведена в таблицi 2.30.

Таблиця 2.30

Характеристика масел гiдромеханiчних передач

| Показник   | Марка масла |       |     |
|--|-------------|-------|-----|
|  | А           | Р     | МГТ |
| Кiнематична в'язкiсть, мм <sup>2</sup> /с, при:      |             |       |     |
| 100 °С   | -           | -     | 6-7 |
| 50 °С  | 23-30       | 12-14 | -   |
| -20 °С   | 2100        | 1300  | -   |
| Динамiчна в'язкiсть при - 30 °С, Пас                 | -           | -     | 40  |
| iндекс в'язкостi                                     | -           | -     | 175 |
| Температура, °С спалаху у вiдкритому тиглi, не нижче | 175         | 163   | 160 |
| Застосування °С, не вище                             | 233         | 228   | 218 |
| Зольнiсть, % не менше                                | 0,6         | 0,6   | -   |

Масло МГТ (ТУ 38 101103-87) призначено для гiдромеханiчних коробок передач та рiзноманiтних гiдравлiчних передач.

### 4.5. Закордоннi трансмiсiйнi масла

Закордоном трансмiсiйнi маса, як i моторнi подiляють на рiзні сорти залежно вiд iх в'язкостi (класифiкацiя SAE) та призначення (класифiкацiя API). Згiдно з класифiкацiєю SAE - 306 В, масла для трансмiсiй автомобiлiв i тракторiв дiлять на зимовi з iндексом W (75, W, 80W, 85W) та лiтнi (90, 140, 250). Крім того, класифiкують всесезоннi трансмiсiйнi масла (80W-90, 85W-95, 85W-40), у маркуванні яких пiсля SAE спочатку вказують показник зимового масла, а потiм лiтнього.

Відповідно до класифікації SAE, прийнятою в США, в залежності від класу в'язкості автотракторні трансмісійні масла мають в'язкісну характеристику наведену в таблиці 2.31.

Таблиця 2.31

Класи в'язкості SAE для автотракторних трансмісійних масел

| Клас в'язкості | Температура, при якій динамічна в'язкість не перевищує 150 Па с, °С не вище | Кінематична в'язкість при 373 °К, мм <sup>2</sup> /с |             |
|----------------|---|--|-------------|
|                |   | мінімальна   | максимальна |
| 70W            | -40   | 4.1  | -           |
| 80W            | -26   | 7.0  | -           |
| 85W            | -12   | 11.0   | -           |
| 90             | -   | 13.5   | 24          |
| 140            | -   | 24   | 41          |
| 250            | -   | 41   | -           |
| 80W-90         | -26   | 13.5   | 24          |
| 85W-90         | -12   | 13.5   | 24          |
| 85W-140        | -12   | 24   | 24          |

Відповідно до класифікації API трансмісійні масла за рівнем експлуатаційних властивостей поділяють на шість груп залежно від конструкції агрегатів та умов їх експлуатації (табл. 2.32).

Таблиця 2.32

Класифікація API для автотракторних трансмісійних масел

| Група | Умови роботи масла | Тип передачі                                     | Тип масла або специфікація | Концентрація присадок у маслі |
|-------|--------------------|--|----------------------------|-------------------------------|
| 1     | 2                  | 3  | 4                          | 5                             |
| GL-1  | Легкі              | Спірально-конічні, черв'ячні, ручне переключення | Без присадок               | -                             |

## Трансмiсiйнi масла

| <i>Продовження табл. 2.32.</i> |                        |  |            |                  |
|--------------------------------|------------------------|--|------------|------------------|
| 1                              | 2                      | 3  | 4          | 5                |
| GL-2                           | Середні                | Черв'ячні (транспортні засоби)                             | Спеціальне | Різні комбінації |
| GL-3                           | Середні                | Спiрально-конiчні, ручне переключення                      |            | 2,7              |
| GL-4                           | Вiд легких до жорстких | Гiпоiднi, ручне переключення                               |            | 4,0              |
| GL-5                           | Жорсткi                | Гiпоiднi   |            | 6,5              |
| GL-6                           | Дуже жорсткi           | Гiпоiднi, максимальний рiвень експлуатацiйних властивостей |            | 10               |

Масла, вiдповiдають вимогам специфiкацiї API GL-4/MIL-L-2105 i SAE 80 застосовують переважно для коробок передач, а масла API GL-4/MIL-L-2105 i SAE 90 – для заднiх мостiв.

Орiєнтована вiдповiднiсть мiж класифiкацiями вiтчизняних (ГОСТ 17479.2-85) та закордонних трансмiсiйних масел за в'язкiсними класами i за експлуатацiйними властивостями наведена в таблицi 2.33.

Таблиця 2.33

Відповідність класів в'язкості і групи трансмісійних масел за  
ГОСТ 17479.2-85 системам SAE і API

| ГОСТ<br>17479.2-85 | SAE     | ГОСТ<br>17479.2-85 | API  |
|--------------------|---------|--------------------|------|
| Клас в'язкості     |         | Група              |      |
| 9                  | 75W     | TM-1               | GL-1 |
| 12                 | 80W/85W | TM-2               | GL-2 |
| 18                 | 90      | TM-3               | GL-3 |
| 34                 | 140     | TM-4               | GL-4 |
| -                  | 250     | TM-5               | GL-5 |
| -                  | -       | TM-6               | GL-6 |

Трансмісійні масла, допущені міжвідомчою комісією до використання на Україні наведені в таблиці 2.34.

Таблиця 2.34

Відповідність марки трансмісійного масла класифікації API

| Марка                    | Класифікація | Фірма. Область застосування  |
|--------------------------|--------------|--|
| 1                        | 2            | 3  |
| Омскойл (TM-3-18)        | API GL-3     | АО "Омський НПЗ". Масло для вантажних автомобілів з негіпоїдними передачами  |
| Ангрол Т (TM-3-18)       | API GL-3     | АО Ангарська нафтохімічна компанія. Масло для вантажних автомобілів з негіпоїдними передачами  |
| Ангрол Супер-Т (TM-5-18) | API GL-5     | АО Ангарська нафтохімічна компанія. Масло випускається двох модифікацій: з в'язкістю при 100 °С – 13,5...15,5 мм <sup>2</sup> /с та 16,5...20,5 мм <sup>2</sup> /с. Для всіх типів передач |

## Трансмісійні масла

| <i>Продовження табл. 2.34.</i> |          |  |
|--------------------------------|----------|--|
| 1                              | 2        | 3  |
| Яр-Марка<br>Супер-Т (ТМ-5-18)  | API GL-5 | АО “Ярославнефтеоргсинтез”.<br>Універсальне масло для всіх<br>типів передач. Масло випу-<br>скається двох модифікацій<br>(аналогічно Ангрол Супер-Т) |
| Яр-Марка Т<br>(ТМ-5-18)        | API GL-3 | АО “Ярославнефтеоргсинтез”.<br>Масло для вантажних автомо-<br>білів з негіпоїдними переда-<br>чами   |
| Волнез Супер-Т<br>(ТМ-5-18)    | API GL-5 | АО “Лукойл-Волгограднеф-<br>тепереработка”. Універсальне<br>масло для всіх типів передач   |
| НОВООЙЛ Т<br>(ТМ-5-18)         | API GL-3 | АО “Новоуфимский НПЗ”.<br>Універсальне масло для всіх<br>типів передач   |

## 5. МАСЛА ДЛЯ ГІДРАВЛІЧНИХ СИСТЕМ

### *5.1. Загальні відомості і властивості*

### *5.2. Класифікація і асортимент масел для гідравлічних систем*

#### **5.1. Загальні відомості і властивості**

Широке застосування в автотракторному і сільськогосподарському машинобудуванні гідроприводів визначилося на цей час як один з основних напрямків підвищення технічного рівня машин. В автомобілях гідропривід застосовується для гальмівної системи, приводу зчеплення, гідропідсилювача керма, підйому пристрою самоскидувача тощо. Сучасні трактори та сільськогосподарські машини оснащуються роздільно-агрегатними гідронавісними системами, об'ємними гідроприводами трансмісій та рульового керування, гідроприводами активних робочих органів тощо. З розширенням і ускладненням функцій, виконуваних гідроприводами, особливо є актуальною проблема використання гідравлічних масел, що забезпечують надійну працездатність машин в процесі їх експлуатації. Гідравлічне масло в гідроприводі виконує функції робочого тіла, тому його називають робочою рідиною. Основною функцією гідравлічного масла є передача механічної енергії від її джерела до виконавчих органів із забезпеченням зміни величини або напрямку прикладеної сили. Одночасно воно є змащувальним та охолоджуючим середовищем для тертьових поверхонь гідроприводу.

З підвищенням потужності та компактності гідравлічних систем умови роботи масел стали більш жорсткими. Температура робочої рідини в гідроприводах машин перевищує на 40...50 °С температуру навколишнього середовища і може досягати 100 °С. Робочі рідини контактують з різними матеріалами

та киснем повітря, а також дроселюються з великим перепадом тиску через робочі зазори та зазнають дії високих питомих тисків на поверхні пар тертя.

Специфічні умови роботи машин, пов'язані з запиленістю, великою вологістю, широким діапазоном температур навколишнього середовища, високим рівнем вібрації тощо, ставлять жорсткі вимоги до якості робочих рідин. Перш за все вони повинні мати оптимальний рівень в'язкості - високий рівень в'язкості і низьку температуру застигання.

Вибір в'язкості робочої рідини залежить від пускових та робочих характеристик гідравлічної системи. В'язкість масла не повинна бути нижче певного рівня, щоб звести до мінімуму втрати через витоки, різні сполучення та ущільнення гідравлічної системи; забезпечити необхідну змащувальну здатність масла. Підвищена в'язкість робочої рідини призводить до збільшення її опору руху в напірних магістралях, особливо при низьких температурах. Для гідроприводів, в'язкість робочої рідини при максимально можливій температурі не повинна бути нижче  $8 \text{ мм}^2/\text{с}$ , а при найнижчій – вище  $1500 \text{ мм}^2/\text{с}$ . Оптимальною в усталених умовах роботи гідросистеми вважається в'язкість  $30 \dots 40 \text{ мм}^2/\text{с}$ .

Крім підвищених вимог до в'язкісних властивостей гідравлічні масла повинні характеризуватися такими показниками:

- мати добру змащувальну здатність і необхідні протиспрацювальні та протизадирні властивості;
- мати високі антиокислювальні властивості, термічну та хімічну стабільність, що забезпечують тривалу роботу масла в гідравлічній системі;
- захищати чорні та кольорові метали від корозії в процесі експлуатації і тривалих перервах у роботі;
- бути стійкими до утворення емульсії з водою та піноутворення;
- не впливати шкідливо на гуму, еластомери та інші ущільнювальні матеріали.

Оснoву для гідравлічних масел складають добре очищені мінеральні масла з відповідними в'язкісно-температурними властивостями. В гідравлічні масла додають присадки (вінілоси, поліметакрилати та поліізобутилені), які поліпшують індекс в'язкості і мають високу стійкість до деструкції, зберігаючи механічну стабільність масел протягом тривалого часу. В робочі рідини для гідравлічних систем додають присадки, які поліпшують антиокислювальні та низькотемпературні властивості, стійкість до корозії та спрацювання.

## 5.2. Класифікація і асортимент масел для гідравлічних систем

Гідравлічні масла класифікують за в'язкістю та рівнем експлуатаційних властивостей. Вітчизняна класифікація гідравлічних масел за в'язкістю (ГОСТ 17479.3-85) відповідає в'язкісній градації робочих рідин, прийнятій міжнародною організацією по стандартизації (ISO 3448-75). Згідно ISO гідравлічні масла поділяють на 18 класів. Кожному класу відповідає символ в'язкісної класифікації (VG) та число, яке позначає кінематичну в'язкість масла при температурі 40<sup>0</sup>С з допуском ±10%. Для вітчизняних масел передбачено 10 класів, класифікація яких за кінематичною в'язкістю приведена в табл. 2.35.

*Таблиця 2.35*

Класифікація гідравлічних масел за кінематичною в'язкістю (ГОСТ 17479.3 - 85)

| Клас в'язкості | Кінематична в'язкість при 40 <sup>0</sup> С, мм <sup>2</sup> /с | Клас в'язкості | Кінематична в'язкість при 40 <sup>0</sup> С, мм <sup>2</sup> /с |
|----------------|---|----------------|---|
| 5              | 4,14...5,06   | 32             | 28,8...35,2   |
| 7              | 6,12...7,48   | 46             | 41,4...50,6   |
| 10             | 9,0...11,0  | 68             | 61,2...74,8   |
| 15             | 13,5...16,5   | 100            | 90,0...110,0  |
| 22             | 19,8...24,2   | 150            | 135,0...165,0   |

## Масла для гідравлічних систем

Залежно від експлуатаційних властивостей гідравлічні масла поділяють на три групи А, Б і В (табл. 2.36).

*Таблиця 2.36*

Класифікація гідравлічних масел за експлуатаційними властивостями

| Група масел | Склад масла  | Рекомендована область застосування   |
|-------------|--|--|
| А           | Нафтові масла без присадок   | Гідравлічні системи з шестернями і поршневими насосами, що працюють при тиску до 15 МПа та температурі масла в об'ємі до 80 <sup>0</sup> С |
| Б           | Нафтові масла з антиокислювальними та антикорозійними присадками                   | Гідравлічні системи з насосами всіх типів, що працюють при тиску до 25 МПа та температурі масла в об'ємі більше 80 <sup>0</sup> С          |
| В           | Добре очищені нафтові масла з антиокислювальними та протиспрацювальними присадками | Гідравлічні системи з насосами всіх типів, що працюють при тиску вище 25 МПа та температурі масла в об'ємі більше 90 <sup>0</sup> С        |

Міжнародною класифікацією ISO 6074/4-1982 (Е) нафтові гідравлічні масла поділять на 4 якісні групи. Відповідність експлуатаційних груп вітчизняних гідравлічних масел класифікаційним групам вітчизняних гідравлічних масел класифікаційним групам ISO наведено нижче:

|                     |    |    |    |                       |
|---------------------|----|----|----|-----------------------|
| ГОСТ 17479.3-85     | А  | Б  | В  | Із зношеною передачею |
| ISO 6074/4-1982 (Е) | НН | НL | НМ | НV                    |

ГОСТ 17479.3-85 передбачає також систему позначень гідравлічних масел, яка складається із знаків, перший з яких позначається літерами МГ – мінеральне гідравлічне, далі вказу-

ють клас в'язкості та належність до групи за експлуатаційними властивостями.

Наприклад, МГ-15-В – масло мінеральне гідравлічне (МГ), цифра 15, що характеризує клас в'язкості, вказує на те, що це масло має кінематичну в'язкість 13,5...16,5 мм<sup>2</sup>/с при температурі 40<sup>0</sup>С, за експлуатаційними властивостями відповідає групі В.

Маркування масел згідно з класифікацією ISO складається з символів якісної та в'язкісної класифікації, наприклад HL VG-46 означає гідравлічне (H) масло якісної групи, що включає мінеральні масла з антиокислювальними та антикорозійними присадками (L) з кінематичною в'язкістю при 40<sup>0</sup>С в інтервалі 41,4...50,6 мм<sup>2</sup>/с (VG-46).

Позначення гідравлічних масел за ГОСТ 17479.3-85 та відповідність їх раніше прийнятим у нормативно-технічній документації (НТД) наведені в табл. 2.367.

Таблиця 2.37

Позначення гідравлічних масел

| ГОСТ 17479.3-85 | НТД                                |
|-----------------|------------------------------------|
| МГ-22-А         | АУ (ТУ 38 1011232-89)              |
| МГ-32-А         | ЕШ (ГОСТ 10363-78)                 |
| МГ10-Б          | РМЦ (ГОСТ 15819-70)                |
| МГ-15-Б         | АМГ-10 (ГОСТ 6794-75)              |
| МГ-22-Б         | АУП (ОСТ 38 01364-84)              |
| МГ-46-Б         | МГ-30 (ТУ 38 10150-79)             |
| МГ-15-В         | ВМГЗ (ТУ 38 101479-74)             |
| МГ-15-В         | МГЕ-10А (ОСТ 38 01281-82)          |
| МГ-22-В         | Р (ТУ 38 101179-71)                |
| МГ-46-В         | МГЕ-46В (МГ-30у) (ТУ 38 001374-83) |
| МГ-68-В         | МГ-8А (М-8А) (ТУ 38 1011135-87)    |

Не дивлячись на великий асортимент масел для різних гідравлічних систем, що випускаються нафтопереробною промисловістю, в сільському господарстві застосовуються небагато

## Масла для гідравлічних систем

з них.

Основні фізико-механічні і експлуатаційні умови гідравлічних масел, що використовуються як робочі рідини в сільсько-господарській техніці наведені в таблиці 2.38.

*Таблиця 2.38*

Характеристика гідравлічних масел

| Марка масла | Кінематична в'язкість, мм <sup>2</sup> /с |   | Індекс в'язкості | Температура, °С     |                   | Густина при 20 <sup>0</sup> С, кг/м <sup>3</sup> |
|-------------|---|---|------------------|---------------------|-------------------|--|
|             | при 50 <sup>0</sup> С                     | при -40 <sup>0</sup> С (-50 <sup>0</sup> С) |                  | застигання, не вище | спалаху, не менше |  |
| МГЕ-10А     | ≥10                                       | (1500)                                      | -                | - 70                | 96                | 860  |
| ВМГЗ        | ≥10                                       | 1600  | 130              | - 60                | 135               | 865  |
| АУ          | 12...14                                   | 13000                                       | -                | -45                 | 165               | 890  |
| ЭШ          | ≥20                                       | -   | 135              | -50                 | 160               | 850...880  |
| МГ-30       | 27...33                                   | 4000<br>(при -15 <sup>0</sup> С)            | 85               | -30                 | 190               | 890  |
| МГЕ-46В     | ≤6<br>(при 100 <sup>0</sup> С)            | 1000<br>(при -15 <sup>0</sup> С)            | 90               | -30                 | 190               | 890  |

Масло МГЕ-10А (ОСТ 3801281-82) виготовляють на основі глибокодеароматизованої низькозастигаючої малов'язкої нафтової фракції. Містить загущуючу, антиокислювальну, антикорозійну та протиспрацьовувальні присадки. Призначене для гідравлічних систем машин, що працюють при температурах від -60<sup>0</sup>С до +75<sup>0</sup>С.

Масло ВМГЗ (ТУ 38101479-85) – всесезонне, виробляють на глибокоочищеній малов'язкій низькозастигаючій нафтовій основі з загущуючою присадкою. Експлуатаційні властивості масла поліпшені протиспрацьовувальною, антиокислювальною, антикорозійною, антипінною та депресорною присадками. Застосовують як зимовий сорт для гідравлічних систем автотракторної техніки при робочих температурах масла в об'ємі від

---

---

–50<sup>0</sup>С до +70<sup>0</sup>С.

Масло веретенне АУ (ОСТ 3801412-86) – добре очищений продукт з низькою температурою застигання. Виробляють з малопарафінованих нафт нафтенової основи без використання процесу депарафінізації. При виробництві масла з малосірчистих та сірчистих нафт воно зазнає глибокої депарафінізації. Масло забезпечує працездатність гідроприводів при температурах від –30<sup>0</sup>С до +90<sup>0</sup>С.

Масло ЭШ (ГОСТ 10363-78) є добре очищеною та глибокодепарафінізованою фракцією, до складу якої введені загущуюча і депресорна присадки. Застосовують як робочу рідину в гідравлічних системах крокуючих екскаваторів та інших аналогічних машинах. Працездатне в інтервалі температур від –45<sup>0</sup>С до +80...100<sup>0</sup>С.

Масло МГ-30 (ТУ 38 10150-79) нафтове дистильатне селективної очистки з антиокислювальною, депресорною та антипінною присадками. Призначене для застосування в гідравлічних системах будівельних, дорожніх, підйомно-транспортних та інших машин з об'ємним гідроприводом і гідрокеруванням. Працездатне при температурі масла від –20<sup>0</sup>С до +75<sup>0</sup>С.

Масло МГЕ-46В (ТУ 38 001347-83) готують на основі селективно очищених індустриальних масел з антиокислювальною, протиспрацьовувальною, депресорною та антипінною присадками. Призначене для використання в гідрооб'ємних передачах сільськогосподарської техніки, що працює при тиску до 35 МПа (короткочасно до 42 МПа). Працездатне при температурі від –10<sup>0</sup>С до +80<sup>0</sup>С. У гідроприводах з аксіальнопоршневими машинами рекомендований строк служби – до 2000 год.

Масло МГ-32-Вз (ТУ 38401894-92) готують на основі масла ВМГЗ з композицією присадок і призначене для об'ємного гідроприводу типів ГСТ-90 та ГСТ-112 різних сільськогосподарських машин. Працездатне в інтервалі температур від –30<sup>0</sup>С до +80<sup>0</sup>С.

У деяких випадках для сільськогосподарської техніки рекомендують використовувати як робочі рідини моторні масла груп Б та В.

## **6. ПЛАСТИЧНІ МАСТИЛЬНІ МАТЕРІАЛИ**

*6.1. Склад, призначення та вимоги до пластичних матеріалів*

*6.2. Методи оцінки основних показників та властивостей пластичних матеріалів*

*6.3. Асортимент пластичних матеріалів*

### **6.1. Склад, призначення та вимоги до пластичних матеріалів**

Пластичні мастильні матеріали належать до особливої групи мастильних матеріалів. Вони являють собою складні колоїдні системи, які представляють собою високоструктуровані тиксотропні дисперсії твердих загустювачів в рідкому середовищі.

Відрізняючою особливістю мастил від масел – це існування межі міцності у пластичних матеріалів, залежність їх в'язкості від температури та швидкості деформації або зсуву, оберненість процесу руйнування структурного каркасу. Це робить їх іноді єдиним, незамінним мастильним матеріалом в окремих вузлах тертя.

Перевага мастил перед маслами являється у здатності утримуватись в негерметизованих вузлах тертя, кращі мастильні якості, більш високі захисні якості, висока економічність використання. Мастила використовуються там, де не має змоги використовувати рідкі масла. Недолік мастил - це погана охолоджуюча здатність деталей тертя, відсутність виносу продуктів зносу із зони тертя, складність подачі до вузла тертя та деякі інші.

Пластичні мастила за властивостями займають проміжне положення між твердими мастильними матеріалами та рідкими

маслами. В найпростішому випадку будь яке пластичне мастило складається з двох складників: масляної основи (мінерального, синтетичного, рослинного або іншого масла) та твердого загусника (мильного або немильного). Сучасні мастила звичайно містять стабілізатор структури і присадки, нерідко ще різноманітні наповнювачі (графіт, дисульфід молібдену, порошкоподібні метали або їх оксиди та ін.). Загусник утворює твердий структурний каркас, усередині якого міститься – масло (рис.2.12). Тому такі мастила називаються структурованими системами. Мастила, до складу яких входять м'які метали або їх оксиди називаються плакучими, наприклад, ЛСЦ-15( з оксидом цинку). Від роду загусника залежать основні властивості мастил: межа міцності, вологостійкості та ін. Низькотемпературні властивості мастил забезпечуються головним чином масляною основою.

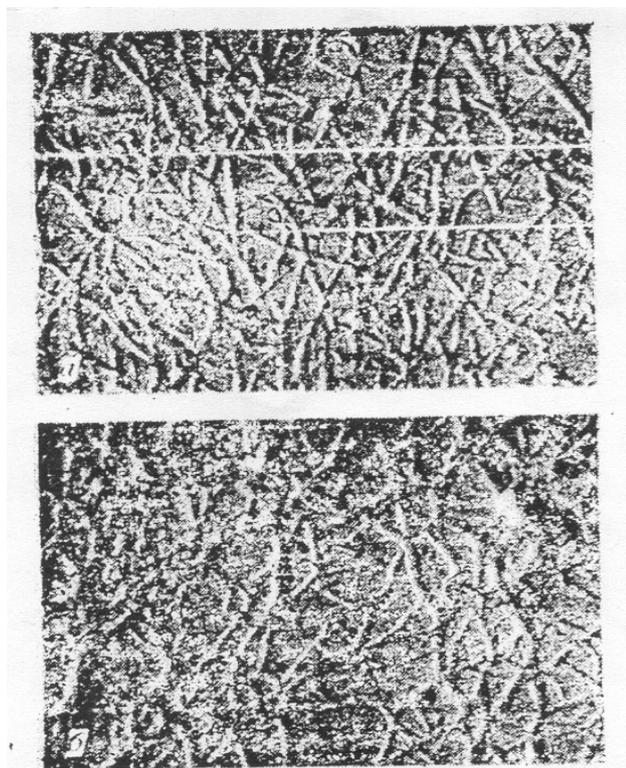


Рис. 2.12. Електронні мікро фотокартки ( $\times 15000$ ) структури комплексних кальцієвих мастил виготовлених на стеариновій (а) та синтетичних жирових кислотах (б)

Частинки загусника, які створюють структурний каркас, мають дуже малі розміри (0,1...1,0 мкм та більше) та форму ниток, маленьких кульок, стрічок, голок, відростків кристалів і т.д. Чим більша анізотропія (відношення довжини та ширини) частинок загусника, тим більш міцну структуру вони утворюють. В мастилах вміст загусника складає 10...20%. Більш поширеними загусниками являються металічні мила високомолекулярних кислот або металічні мила природних жирів. Це так звані мильні мастила.

Далеко не всі мила можуть служити в якості загусника мастил. Існують вуглеводні, бентитові, селикагелесєві мастила та ін. В них загусниками являються тверді вуглеводні та неорганічні речовини. Це так звані немильні мастила.

На формування структурного каркаса впливають тип та концентрація загусника, склад та властивості дисперсного середовища, вміст ПАВ, технологія виготовлення мастила. Висока степінь структурування дисперсної фази дає мастилам твердоподібний стан та пластичність. При відсутності навантаження мастила ведуть себе подібно твердим тілам. Під дією дуже малих навантажень структурний каркас руйнується, мастило набуває в'язкотекучий рідкий стан. Важливою особливістю є зворотність процесу руйнування структурного каркаса. При знятті навантаження мастило знову придбає властивість твердого тіла. Властивість відновлення структури каркаса при знятті навантаження в період відпочинку мастила називається явищем тиксотропії. Тиксотропне перетворення мастила із пластичного стану у в'язкотекучий і зворотнє забезпечує перевагу застосування мастил перед рідкими і твердими мастильними матеріалами.

Процес виробництва складний і складається із наступних стадій: підготовки сировини підготовки загусника термомеханічного диспергування загусника (варення мастила), охолодження розплаву оздоблювальних процесів приготування загусника являє собою однією із основних операцій виробництва мильних мастил. Ця стадія вимагає старанного дозування компонентів та

суворої послідовності їх завантаження. Приготування мила – хімічний процес, який може продовжуватися дуже довго – до 30 г. На стадії охолодження розплаву загусника в маслі формується структурний каркас мастила. Розміри та форми частинок загусника залежить від умов кристалізації, початкової температури охолодження та швидкості охолодження, гомогенізації (механічної обробки), фільтрування, Деаерація (видалення повітря), відноситься до оздоблювальних робіт і потрібна для отримання однорідних і тиксотропних мастил, тобто здатних при кожному їх руйнуванню багаторазово відновлюватися. Всі оздоблювальні операції для одного мастила використовуються рідко. Розфасовка мастил здійснюється в тару місткістю від 30 г (тюбик) до 200 кг (бочка).

Пластичні мастила представляють собою мазеподібні продукти частіше від світло-жовтого до темно-коричневого кольору, іноді чорні (графітні) або кольорові (№158 – синя). Вони повинні бути однорідними по складу, без комків, абразивних домішок та води, мати високу стабільність, тобто не розшаровуватися на складники. Якщо при зберіганні виникло розшаровування, то необхідно злити масло яке відокремилось, зняти верхній шар мастила який окислився і використовувати тільки залишену частину.

Кількість виготовлених мастил відносно невелика – приблизно 5% від виготовлення всіх мастильних матеріалів. Об'єм та споживання мастил, темпи їх виробництва за останні роки стабілізувалися на одному рівні, не дивлячись на стрімкий ріст кількості транспортних засобів, сільськогосподарських машин верстатного обладнання та інших видів техніки. Більш того, в останні роки намічається тенденція до зменшення виробництва мастил. Це пояснюється покращенням їх якості, виробництвом та використанням довгопрацюючих та “вічних мастил”. До таких мастил відносяться, перед усім багато цільові високоєфективні литтєві та комплексні кальцієві мастила. Використання високоякісних мастил у замкнених вузлах тертя автомобілів в 5...10 раз збільшує пробіг без заміни мастила. Ефективність ви-

користання залежить не тільки від вірного вибору сорту мастила та і від високої культури використання мастила та зразкової організації мастильного господарства.

Мастильні матеріали незалежні від умов використання і призначення повинні задовольняти наступним вимогам:

- надійно виконати свої функції (перед усім зменшувати тертя і знос) в широкому діапазоні температур, навантажень, швидкостей переміщення;

- в мінімальній степені змінювати властивості при зовнішніх діях в умовах зберігання та використання;

- робити мінімальні дії на контактуючі з ними матеріали;

- мати хороші екологічні властивості (мінімальне дії на зовнішнє середовище, пожежо- та вибуху безпечність, здатність до багатократної регенерації та ін.)

Ефективність роботи мастильного матеріалу визначається також конструктивними особливостями вузла тертя (типом, розміром, характером, руху поверхонь тертя тощо).

### **6.2. Методи оцінки основних показників та властивостей пластичних матеріалів**

При підборі мастил необхідно враховувати їх експлуатаційні властивості. До найбільш важливих властивостей відносяться: межа міцності, в'язкість, механічна стабільність – тиксотропні властивості, тобто властивості, які характеризують структурно-механічні (реологічні) властивості мастил; стабільність мастил (термічна, колоїдна, хімічна, радіаційна, випаровування); стійкість до зовнішніх впливів.

*Межа міцності.* Для кожного мастила існує визначене критичне навантаження, перевищення якого порушує пропорційність між навантаженням та деформацією, після чого мастило починає вести себе як рідина. Таке критичне навантаження, або напруга зсуву, називається межею міцності, яка виражається

в Па·с ( $\text{г/см}^2$ ). Для мастил при температурі 20...120 °С вона дорівнює 100...500 Па·с (0,5...20,0  $\text{г/см}^2$ ).

Межа міцності є важливою експлуатаційною властивістю мастила.

Межу міцності визначають на зсув за допомогою пласто-міра К-2 (ГОСТ 7143-73). Метод заснований на визначенні тиску, під дією якого при заданій температурі відбувається зсув мастила у капілярі пластомера.

Найбільший вплив на механічну міцність створює температура, з підвищенням якої звичайно відбувається інтенсивне руйнування мастил (рис.2.13). Найбільш важлива властивість мастил є їх здатність відновлювати міцність, тому, що при значному її зменшенні мастила витікають з вузлів тертя. Відновлювання міцності мастил після зняття деформації пояснюється взаємодією частинок загусника та створенням нового структурного каркаса. Мастила, у яких заміщення протікає повільно, мають низькі механічні властивості.

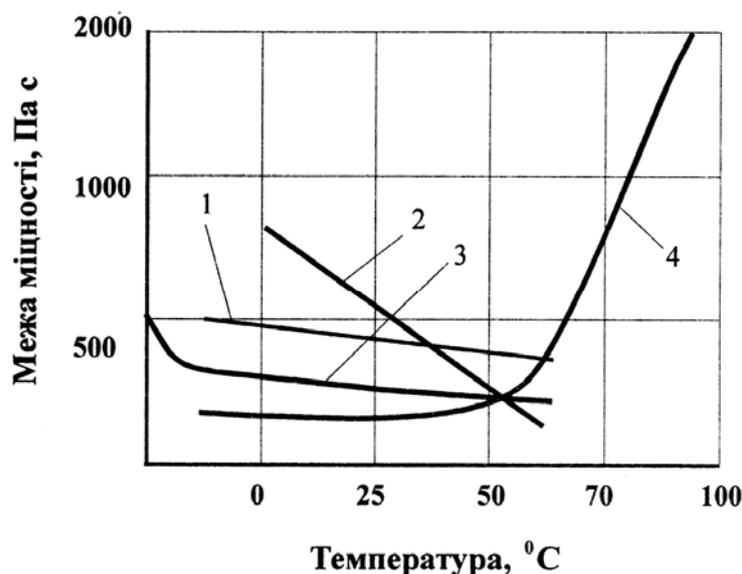


Рис. 2.13. Вплив температури на межу міцності мастил:  
1 - солідол; 2 - солідол С; 3 - ЦИАТИМ-201; 4 - жировий консталин

Значення межі міцності мастила залежать від загусника, розміру його частинок та концентрації. На межу міцності значно

впливає спосіб виготовлення мастила, особливо режим охолодження мастил (мильних) та гомогенізація.

Мастила з малими значеннями межі міцності викидаються з рухомих деталей, стікають з вертикальних поверхонь, погано тримаються в негерметичних вузлах тертя. При робочих температурах мінімальна межа міцності повинна бути не менше  $1 \dots 2 \text{ г/см}^2$ . Дуже велика межа міцності також небажана, тому що таке мастило погано поступає до поверхонь тертя. Межа міцності при  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  не повинна перевищувати  $15 \dots 20 \text{ г/см}^2$ . Межу міцності мастил визначають за ГОСТ 7143-73 на пластометрах.

*Ефективна в'язкість.* В'язкість мастил є змінною величиною, яка залежить від температури та швидкості деформації. В'язкість мастила тим менша, чим більша швидкість деформації та температура.

Після руйнування структурного каркаса мастило починає текти, подібно рідині. Чим більша швидкість деформації (при постійній температурі), тим швидше зменшується в'язкість мастила, тим легше воно тече. Швидкість деформації ( $D$ ) вимірюється в  $\text{с}^{-1}$ . Частіше всього в'язкість мастила визначається при швидкості деформації  $10 \text{ с}^{-1}$ . Так як в'язкість мастила залежить від швидкості руйнування структурного каркаса, введено поняття “ефективної в'язкості”. Під ним розуміють в'язкість н'ютонівської рідини, яка при даному режимі течії чине той же опір зсуву, що і мастило.

В'язкість мастила також як і межа міцності, залежить від роду загусника, його концентрації, розміру частинок, технології приготування та інших параметрів. Від в'язкості залежить прокачуваність мастил, витрати енергії на відносно переміщення змащуваних деталей, особливо у пусковий період. З двох мастил більш якісною вважається та, у якої при однакових значеннях межі міцності менша в'язкість. В'язкість мастил при мінімальних температурах не повинна перевищувати  $150 \dots 200 \text{ Па}\cdot\text{с}$  при швидкості деформації  $10 \text{ с}^{-1}$ .

Ефективну в'язкість визначають на автоматичних віскозиметрах за ГОСТ 7163-84.

---

---

*Механічна стабільність.* При роботі мастила постійно підлягають механічній дії, в результаті чого руйнується їх структурний каркас. Здатність мастил протидіяти руйнуванню називається механічною стабільністю. Здатність мастил самовільно відновлювати структуру каркаса в період спокою називається явищем тиксотропії.

Механічна стабільність та тиксотропія мастил – важливі показники, особливо для підшипників ковзання, шарнірів, плоских опор тощо, так як в них мастила в період роботи безперервно підлягають деформації. Тиксотропні властивості мастил суттєво залежать від типу, концентрації загусника, хімічного складу мастила, температури, інтенсивності механічної дії і інших факторів.

При тиксотропних перетвореннях мастил показники якості не повинні змінюватись, в першу чергу це відноситься до їх механічних властивостей. Але не всі мастила володіють такими можливостями. В деяких мастилах межа міцності і в'язкості встановлюються меншими початкових значень, а в деяких, навпаки, межа міцності і в'язкості набувають більш високих значень у порівнянні з першопочатковими. В таких випадках механічні нестабільні мастила або виливаються із вузлів тертя, або погано надходять до працюючих поверхонь, а сильно затверділі мастила взагалі не потрапляють до поверхонь тертя.

Механічні нестабільні мастила застосовувати недоцільно. Механічну стабільність, тексотропні властивості мастил виявляють на тиксометрах за межею цілності на розрив, індексом руйнування і тиксотропного відновлення згідно ГОСТ 19295-73.

*Термічна стабільність і термозміцнення.* Під термічною стабільністю розуміють здатність мастил зберігати свої експлуатаційні властивості без змін при зростанні температур. Властивості більшості мастил при нагріванні їх на 50...100°C більше температури плавлення із послідовним охолодженням практично не змінюється. Але деякі мастила після нагріву і послідовного охолодження ущільнюються, в них сильно збільшується межа міцності і в'язкості, аж до втрати гнучкості. Термозміц-

нення погано відображається на експлуатаційних якостях мастил, оскільки при термокеруванні мастила не поступають до працюючих поверхонь у зв'язку з великими значеннями межі міцності і в'язкості. Інколи межа збільшується до  $1,96 \text{ Н/см}^2$ . В результаті (не дивлячись на достатню кількість мастила в підшипнику) саме поверхні тертя залишаються сухими. Це веде до тимчасового виходу вузла тертя з ладу.

Термозміцнення і механічна стабільність взаємопов'язані.

До термозміцнюючих мастил відносяться, наприклад: натрієві, кальцієво-натрієві (ЯНЗ-2, 1-13, 1-13с). Термозміцнення виявляють, вимірюючи межу міцності мастил до і після витримки при підвищених температурах за ГОСТ 7143-73. Зібраний прилад вставляють в лазню. Спостерігають за станом мастила в ковпаку. Температура при якій падає перша крапля мастила через спеціальний отвір ковпачка, називається температурою краплепадіння.

*Температура краплепадіння.* Температура падіння першої краплі мастила при нагріванні у визначених умовах (за ГОСТ 6793-74) називається *температурою краплепадіння*. За температурою краплепадіння судять про верхню температурну межу працездатності мастила. Працездатна температура повинна бути на  $10...20 \text{ }^\circ\text{C}$  нижче температури краплепадіння. Для багатьох мастил визначити робочу температуру за температурою краплепадіння не рекомендується. Наприклад, температура краплепадіння литтєвих мастил звичайно лежить в інтервалі  $180...200 \text{ }^\circ\text{C}$ , верхня температурна межа не більше  $130 \text{ }^\circ\text{C}$ . Деякі гідротировані кальцієві мастила мають температуру краплепадіння, до  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  і декілька вище. Тим більше робочі температури цих мастил не повинні перевищувати  $65...75 \text{ }^\circ\text{C}$ . Більшість немильних мастил, особливо високотемпературних, взагалі не мають температури краплепадіння.

За температурою краплепадіння можливо визначити робочу температуру вуглеводних мастил.

Для визначення температури краплевиділення використовують спеціальний пристрій (рис. 2.14) - прилад (термометр) для

визначення температури краплепадіння пластичних мастил. Пристрій працює наступним чином. На ртутну кульку 1 термометра надягають скляний ковпачок 2 з дослідженим мастилом. Термометр з ковпачком і мастилом вставляють у скляну пробірку. В ній термометр тримається корковою пробкою.

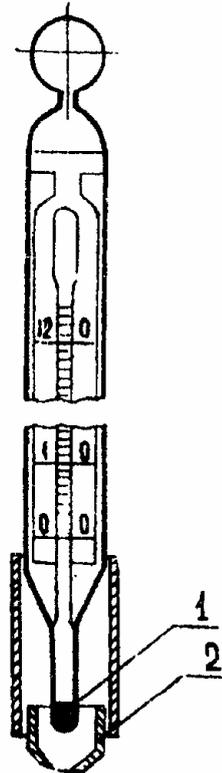


Рис. 2.14. Прилад (термометр) для визначення температури краплепадіння пластичних мастил

*Колоїдна стабільність* характеризує можливість дисперсної середи (масла) виділятися з мастила при зберіганні та експлуатації. Виділення масла з мастила збільшується при збільшенні температури і тиску. Дуже сильно на виділення масла з мастила впливає прикладання до нього одностороннього тиску, наприклад, при дії на мастило відцентрових сил та тисків. З підвищенням температури колоїдна стабільність погіршується в наслідок зменшення в'язкості дисперсного середовища.

Якісні мастила повинні виділяти найбільшу кількість масла при випробовуванні визначених стандартних вимог. Надмірно стабільні (“сухі”) мастила погано змащують вузли тертя. Особливо важливо виділення деякої кількості масла з мастила для запобігання підвищеного зносу наприклад, в момент зрушення автомобіля з місця, тобто у стартові періоди. Виділення масла, проявлення слою масла на поверхні мастила при зберіганні (явище синерезиса) свідчить про “старіння” мастила, погіршення експлуатаційних якостей. Такі мастила не придатні до експлуатації. Колоїдну стабільність мастил визначають за ГОСТ 7142-74.

*Хімічна стабільність.* Під хімічною стабільністю мастил розуміють їх стійкість проти окислення при зберіганні та експлуатації. Окислення мастил понижує їх антикорозійні властивості, а також викликає їх розміцнення, погіршення колоїдної стабільності, мастильної та захисної можливості. При підвищенні температури окислення мастил прискорюється.

На хімічну стабільність мастил впливає рід загусника та якість дисперсного середовища. Більшість неорганічних та органічних мастил переважають за хімічною стабільністю (мильні мастила). В мильних мастилах окисленню піддаються масло та загусник. Мила деяких металів є сильними каталізаторами окислення, наприклад, свинцеві. Неможливо отримати хімічно стабільні мастила із масел з низькою хімічною стабільністю без добавки високоефективних антиокисних присадок. Хімічна стабільність дуже важлива для довгопрацюючих та “вічних” мастил, які заправляються в вузли тертя 1...2 рази на протязі 10...15 років або один раз за весь період експлуатації, а також мастил, працюючих при температурах 100 °С. Мастила з низькою хімічною стабільністю мають невеликий строк експлуатації, вимагають частої заміни, що веде до їх перевитрати. Поява твердої корки на поверхні мастила при зберіганні свідчить про глибоке окислення мастила. Таке мастило не придатне до використання.

---

---

Сучасні мастила виготовляють з високоякісних масел та хімічно стійких загусників з добавкою антиокисних присадок, дезактиваторів металів. Корозійність мастил визначають за ГОСТ 9.080-77, а стабільність мастил проти окислення – за ГОСТ 5734-76.

*Водостійкість* передусім важлива для мастил працюючих в негерметичних вузлах тертя або контактуючих з водою. Мастила не повинні змиватися водою або змінювати свої властивості при попаданні в них вологи. При оцінюванні вологостійкості приймається до уваги гігроскопічність мастил. Обводнені мастила втрачають свої якості.

Вологостійкість мастил залежить, головним чином, від роду загусника. Основна маса мастил вологостійка. Недостатню вологостійкість мають комплексні кальцієві мастила, не дивлячись на те, що вони не розчинні у воді. Низькою вологостійкістю в комплексних мастилах володіють кальцієві мила низькомолекулярних органічних кислот, які є стабілізаторами структури. Тому в склад комплексних кальцієвих мастил, працюючих в умовах високої відносної вологості повітря, необхідно вводити гірофобізуючі присадки. Підвищеною вологостійкістю повинні володіти консерваційні – захисні мастила. Високу вологостійкість мають літієві мастила.

*Пенетрація* характеризує густину мастила. Показник чисто емпіричний, він не має практичного значення. Число пенетрації виражає глибину занурення стандартного конуса в мастило на протязі 5 с при 25 °С. Чим м'ягше мастило, тим глибше занурення конуса в мастило. Згідно ГОСТ 23258-78 в найменуванні мастила входить індекс класу консистенції: 00, 0,1...7,0. Самі м'ягкі мастила мають індекс класу консистенції "00", самі тверді – "7,0". Пенетрацію визначають за ГОСТ 5346-78.

За значенням пенетрації, тобто за всією консистенцією, мастила мають 9 індексів класу консистенції:

|              |           |           |           |           |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Пенетрація   |           |           |           |           |
| при 25 °С за |           |           |           |           |
| ГОСТ 5346-78 | 400...430 | 335...385 | 310...340 | 265...295 |

## Пластичні мастильні матеріали

|  |           |           |                       |          |   |
|--|-----------|-----------|-----------------------|----------|---|
| Індекс класу<br>консистенції               | 00        | 0         | 1                     | 2        |   |
| Пенетрація<br>при 25 °С за<br>ГОСТ 5346-78 | 220...250 | 175...205 | 130...160<br>нижче 70 | 85...115 |   |
| Індекс класу<br>консистенції               | 3         | 4         | 5                     | 6        | 7 |

Приклади позначень мастил наступні:

– СКа2/8-2-“С” означає, що мастило загального призначення для звичайних температур (солідол); Ка – загусник – кальцієве мило; 2/8 - температурний діапазон використання в межах – 20...80 °С; 2- індекс класу консистенції.

– МЛі 4/13-3-“М” - багатоцільове мастило; Лі - загусник - літієве мило; 4/13 - температурний діапазон використання в межах – 40...+130°С; 3 - індекс класу консистенції УНа.

3/12-е3-“У” - вузькоспеціалізовані мастила; На - загусник-натрієве мило; 3/12-температурний діапазон використання в межах – 30...+120°С; е –масляна основа-складні ефіри; 3-індекс класу консистенції.

КТ6/5к—Г4 –“К” - канатне мастило; Т- загусник – тверді вуглеводи; 6/5 - температурний діапазон використання в межах – 60...+50 °С; к - виготовлена на основі кремнійорганічної рідини; г - тверда добавка графіту; 4 - індекс класу консистенції.

### 6.3. Асортимент пластичних матеріалів

Найбільш розповсюдженими водостійкими мастилами для змащування вузлів тертя різних машин та механізмів є кальцієві мастила – солідоли.

*Синтетичні солідоли* СКа2/7-2(ГОСТ 4636-76) виготовляють загусненням масел середньої в'язкості гідратованими кальцієвими милами синтетичних жирних кислот, отриманих окисленням парафіну. Температура використання синтетичних

---

---

солідолів не перевищує 50...70 °С. Вище цієї температури вони розпадаються. Солідол С можливо заправляти в вузли тертя до температури – 10 °С, а прессолідоли С - до температури – 20 °С.

Синтетичні солідоли володіють доброю колоїдною стабільністю. Їх використовують як консервативні мастила, тому що вони практично не змиваються дощем з відкритих поверхонь.

Прес-солідоли використовують для змащування вузлів тертя шасі автомобілів; солідол С – в якості літнього та зимового мастила в різних вузлах тертя. Недоліком останнього є відносно низька механічна стабільність.

*Жирові солідоли* (ГОСТ 1033-79) на відмінність від синтетичних згущуються кальцієвими милами жирних кислот, які входять в склад природних жирів. Жирові солідоли виготовляють двох марок: прес-солідол Ж та солідол Ж. Жирові солідоли взаємозамінні з синтетичними.

*Графітна змазка* СКа 2/6-г3 (УСеА) (ГОСТ 3333-80) виготовляється з високов'язкого циліндрового масла з введенням кальцієвого мила і графіту. Ці мастила застосовуються для важконавантажених тихохідних механізмів, в ресорах, різьбових з'єднаннях, торсіонних підвісках і т.д. Температурна межа використання – 20...60 °С.

*Жировий консталин* (доскональне тугоплавке мастило УТ ГОСТ 23258-78) двох марок: консталин – 1-ОНа 2/11-3 та консталин - 2-ОНа2/11-4, котрі розрізняються температурою краплепадіння та значенням penetрації. Отримують жирові консталини згущенням очищеного або вилуженого мінерального масла натрієвими милами. Використовуються для підшипників кочення з температурою до 120 °С.

*Автомобільне мастило* ОНаКа 3/10-2(ГОСТ 9432-60) призначене для змащування підшипників маточин коліс, черв'ячного валу коробки передач та інших вузлів автомобіля. Воно майже нерозчинне, але емульгується при довгому перебуванні у вологій атмосфері. У вигляді відносно м'якої консистенції та пониженої в'язкості при звичайних температурах це мастило

## Пластичні мастильні матеріали

---

---

добре змащує підшипники кочення. Температура краплепадіння – не нижче 150 °С.

*Мастило МЛи 4/12-3* (Літол-24 ГОСТ 21150-75) – антифрикційне, багатоцільове, водостійке. Призначене для використання в вузлах тертя колісних та гусеничних транспортних засобах та виробничого обладнання, працюючих при температурах – 40...120 °С.

*Мастило Літол-24* виготовляється згущенням мінерального масла літєвими милами 12-оксистеаринової кислоти з добавкою антиокисної присадки.

*Мастило УЛи4/13 (13-31)* (ГОСТ 24300-80) представляє собою синтетичне масло, згущене стеарином літію та містить в'яскісну, антиокисну та антикорозійну присадки. Призначення мастила – закриті підшипники кочення, які працюють в інтервалі температур від – 40 до 130 °С.

*Мастило ЦИАТИМ-201* (ГОСТ 6267-74) призначене для змащування пристроїв та механізмів, які працюють з малим навантаженням зсуву при температурах -60...90 °С.

*Карданне мастило УНа2/10-2 (АМ)* (ГОСТ 5730-51) використовується для змащування поворотних цапф переднього ведучого моста автомобілів. Температура краплепадіння - не нижче 115 °С, penetрація 220...270 при 25 °С.

*Мастило Уніол* відноситься за своїм складом до комплексних кальцієвих мастил, які виготовляються на милах високо- та низькомолекулярних кислот. Уніол водостійке навіть у киплячій воді. Мінімальна температура використання Уніола однакова з мастилами 1-13 та солідолом С, а за максимальною температурою переважає їх та добре витримує робочу температуру 150...160 °С. Володіє доброю колоїдною стійкістю та високими протизадирними властивостями. Недоліком Уніола є його гігроскопічність, що вимагає зберігання його в герметичній тарі. Ці недоліки виключені в Уніолі-1, яке виготовляється на в'язкому авіаційному маслі. Уніол може використовуватися в якості одного автомобільного мастила в заміну солідолу, мастил 1-13, ЯНЗ-2 та ін.

---

---

*Високотемпературні мастила* призначені для вузлів тертя які працюють при температурі 150...200 °С. До цих мастил відносяться літакомоторне тугоплавке СТ (ГОСТ 5573-67), ЦИАТИМ –221 (ГОСТ 9433-80) та ін.

*Низькотемпературні мастила* призначені для змащення при низьких температурах. До них відносять мастила ЦИАТИМ201 та 203 ,МС-70,ГОИ-54п та ін.

*Мастило ЦИАТИМ–203* (ГОСТ 8773-73) призначене для змащування механізмів, працюючих при високих навантаженнях та при температурі –50...90<sup>0</sup>С.

*Консерваційні мастила* – це мастила з вуглеводними загусниками: НТ 5/5-3 (ГОИ-54п), ПВК, які містять загусник церезин. Мастило НТ 5/5-3 (ГОИ 54п) (ГОСТ 3276-74) використовується для змащування пристроїв механізмів, працюючих при температурах – 40...50 °С, та захисту механічних поверхонь від корозії.

*Пластичне мастило 3Т 5/5-5 (ПВК)* (ГОСТ 19537-74) призначене для захисту від корозії металічних виробів при температурах – 50...50 °С в умовах складного зберігання на відкритих майданчиках під навісом та чохлами. Змазка ПВК виробляється сплавленням петрулатума з в'язким залишковим маслом, куди додатково вводять 5% церезима та присадки. Воно володіє високою водостійкістю та стійкістю, нерозчинне у воді що дозволяє захищати деталі у воді на протязі 10 років.

В таблиці 2.39 наведені деякі фізико-хімічні та експлуатаційні показники ряду пластичних мастил. Відповідність марок вітчизняних та закордонних пластичних мастил наведена в таблиці 2.40.

Пластичні мастильні матеріали

Таблиця 2.39

Характеристики деяких пластичних мастил

| Товарне найменування                                | Температура краплепадиння, °С, не менш | Пенетрація при 25 °С, 10 <sup>-4</sup> мм | Межа міцності при 20 °С, Па | В'язкість при 0 °С та швидкості деформації 10 с <sup>-1</sup> , Па·с | Колоїдна стабільність %, не більше |
|---|--|---|-----------------------------|--|------------------------------------|
| 1   | 2                                      | 3   | 4                           | 5  | 6                                  |
| <i>Антифрикційні мастила загального призначення</i> |  |   |                             |  |                                    |
| Солідол С   | 85 ...105                              | 260...310                                 | 200...500<br>(при 50 °С)    | < 190  | 1...5                              |
| Прес-солідол С                                      | 85...95                                | 310...350                                 | 100...400<br>(при 50 °С)    | < 90   | 2...10                             |
| Солідол Ж   | 78                                     | 230...290                                 | 196 (при 50 °С)             | < 250  | -                                  |
| Графітна  | 77                                     | 250                                       | 100 (при 50 °С)             | < 100  | 5                                  |
| 1-13  | 120                                    | 180...250                                 | 500...1000                  | < 500  | 20                                 |
| Графітна  | 130                                    | 225...275                                 | 150...300                   | 250...500  | 8...20                             |
| <i>Мастила багаточільові</i>                        |  |   |                             |  |                                    |
| Літол-24  | 185                                    | 220...250                                 | 500...1000                  | < 280  | 12                                 |
| Фіол-1  | 185                                    | 310...340                                 | > 250                       | < 200  | 25                                 |
| Фіол-2  | 188                                    | 265...295                                 | 300                         | < 250  | 16                                 |
| Фіол-2м   | 180                                    | 265...295                                 | 300                         | < 250  | 15                                 |
| Алюмол  | 230                                    | 220...250                                 | 500...1000                  | < 250  | 12                                 |
| <i>Мастила термостійкі</i>                          |  |   |                             |  |                                    |
| ЦИАТ ИМ-221   | 200                                    | 280...160                                 | 250...450                   | 80...200   | 7                                  |
| ВНИИ НП-207   | 250                                    | 220...245                                 | 250...500                   | 180...200  | 7                                  |
| ВНИИ НП-246   | -                                      | 345                                       | 80...240<br>(при -80 °С)    | 500<br>(при -40 °С)  | 10                                 |
| Уніол-1   | 200                                    | 280...320                                 | 200...500                   | < 160  | 10                                 |
| Графітол  | 250                                    | 265...295                                 | 350...700                   | 300...600  | 8                                  |

| <i>Продовження табл. 2.39.</i>         |         |               |                   |                        |       |
|--|---------|---------------|-------------------|------------------------|-------|
| 1                                      | 2       | 3             | 4                 | 5                      | 6     |
| ПФМС-4с                                | -       | -             | 100...200         | 200...250              | 1,6   |
| Силикол                                | 250     | 220...250     | 700...100<br>0    | < 550                  | 9     |
| Лимод                                  | 240     | 310...340     | 250               | 250                    | 3     |
| <i>Мастила низькотемпературні</i>      |         |               |                   |                        |       |
| ЦИАТИМ-201                             | 175     | Не нормується | 250...500         | < 1100<br>(при -50 °С) | 26    |
| ЦИАТИМ-203                             | 160     | 250...300     | 250<br>(при 50 С) | < 1000<br>(при -30 °С) | 10    |
| Лита                                   | 170     | 240...265     | 550...750         | < 1000<br>(при -30 °С) | 20    |
| Зимол                                  | 190     | 240...290     | 300...100<br>0    | < 2000<br>(при -50 °С) | 20    |
| ГОИ-54п                                | 61      | 200...245     | 150               | < 1200<br>(при -50 °С) | 6     |
| <i>Консерваційні (захисні) мастила</i> |         |               |                   |                        |       |
| Пушечне (ПВК)                          | 60      | 90...150      | -                 | -                      | 1...4 |
| ВТВ-1                                  | 54      | -             | > 1000            | 100...150              | 4,5   |
| <i>Мастила канатні</i>                 |         |               |                   |                        |       |
| Канатні 9у                             | 65...75 | -             | -                 | 2000                   | -     |
| Торсиол-35б                            | 65...80 | 350...360     | -                 | 800...140<br>0         | 3     |
| Торсиол-55                             | 63...78 | 350           | -                 | 200...260              | -     |
| <i>Ущільнюючі мастила</i>              |         |               |                   |                        |       |
| Бензо-упорні                           | 35      | 30...80       | > 2500            | -                      | 1,2   |
| Замазка ЗЗК-3у                         | 115     | 40...80       | > 2000            | -                      | -     |

## Пластичні мастильні матеріали

| <i>Продовження табл. 2.39.</i> |     |                      |                       |           |        |
|--------------------------------|-----|----------------------|-----------------------|-----------|--------|
| 1                              | 2   | 3                    | 4                     | 5         | 6      |
| <b>Автомобільні мастила</b>    |     |                      |                       |           |        |
| °АМ<br>карданне                | 115 | 220...230            | 500...700             | 300...600 | 10..15 |
| ЛСЦ-15                         | 185 | 250...280            | > 500                 | < 280     | 15     |
| ШРБ-4                          | 230 | 260...295            | > 200                 | 80...160  | 10     |
| ШРУС-4                         | 190 | 250...280            | 300...700             | < 250     | 16     |
| Фіол-2у                        | 180 | 255...295            | > 300                 | < 170     | 12     |
| №158                           | 132 | 305                  | 150...500             | < 400     | 23     |
| МЗ-10                          | 70  | 270                  | 210                   | 70...220  | 8      |
| ЛЗ-31                          | 188 | 220...250            | 500...600             | < 280     | 12     |
| Автомобіль<br>на               | 150 | Не<br>нормуєть<br>ся | 180<br>(при 50<br>°С) | < 200     | -      |

*Таблиця 2.40*

Відповідність марок вітчизняних та закордонних пластичних  
мастил

| <b>Вітчизняне<br/>мастило,<br/>стандарт</b> | <b>Мастило закордонних фірм</b> |  |   |                             |
|---|---------------------------------|--|---|-----------------------------|
|   | <b>Shell</b>                    | <b>Mobil</b>                             | <b>BP</b>   | <b>Exon</b>                 |
| 1   | 2                               | 3  | 4   | 5                           |
| Солідол С<br>(ГОСТ<br>4366-76)              | Uneda2,3;<br>Livona3            | Mobil-<br>grease<br>AA2;Greas<br>rex D60 | EnegreaseC<br>2,C3<br><u>EnegreaseG</u><br><u>P2, GP3</u> | Chassis<br>XX;<br>Cazar K2  |
| Прес-солідол<br>(ГОСТ<br>4366-76)           | Uneda1;<br>Retinax C            | Mobilgreas<br>e AA1                      | Enegrease<br>C1,C3  | ChassisL,<br>H;<br>Cazar K1 |
| Графітне<br>УСа (ГОСТ<br>3333-80)           | Barbatia<br>2,3,4               | Crarhited<br>No 3                        | Enegrease<br>C-3G;<br>Enegrase<br>GP-2G                   | Van<br>Estan 2              |
| ЦИАТИМ-201<br>(ГОСТ<br>6267-74)             | Aeroshell<br>Grease 6           | Mobilgreas<br>e BRB<br>Zero              |   | Beacom<br>325               |

| <i>Продовження табл. 2.40.</i>  |                             |                             |                                      |                     |
|---------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|---------------------|
| 1                               | 2                           | 3                           | 4                                    | 5                   |
| Літол-24<br>(ГОСТ<br>21150-87)  | Alvania R3<br>Cyprina<br>RA | Mobilux 3                   | Enegrease<br>L2;<br>Multi<br>purpose | Beacom 3            |
| Фіол-2М (ТУ<br>38.101233-75)    | Retimax<br>AM               | Litnium<br>Special          | Enegrease<br>L21-M                   | Beacom<br>Q2        |
| ЦІАТИМ-221<br>(ГОСТ<br>9433-80) | Aeroshell<br>22C            | Mobil-<br>grease 28         |                                      | Araren<br>BC<br>290 |
| Літа (ОСТ<br>38.01295-83)       | Band B                      | Mobil-<br>grease<br>28      | Enegrease<br>LC                      | Lotemp<br>Moly      |
| Зимол (ТУ<br>38.201285-82)      | Aeroshell 6                 | Mobil-<br>grease<br>BRBZero | Enegrease<br>LT2                     | Beacom<br>P230      |
| №158 (ТУ<br>38.101320-77)       | Retimax J                   | Litnium<br>Special          | Enegrease<br>L2-M                    | Beacom<br>Q2        |
| ШРУС (ТУ<br>38.201312-81)       | Alvania 2c<br>MoS2          | Mobil-<br>grease<br>Special | Enegrease<br>L21-M                   | Nebula<br>EP2       |

## 7. МАСЛА ІНШОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

*7.1. Індустріальні масла*

*7.2. Турбінні масла*

*7.3. Обкаточні масла*

*7.4. Компресорні масла*

*7.5. Масла для компресорів холодильних установок*

*7.6. Електроізоляційні масла*

*7.7. Консерваційні масла*

### 7.1. Індустріальні масла

Індустріальні масла призначені для зменшення тертя, спрацювання та запобігання задирам тертьових поверхонь різноманітних машин та механізмів промислового обладнання: метало- та деревообробних верстатів, пресів, контрольно-вимірювальних приладів, насосів різного типу, гідросистем тощо. Змащувальні вузли та деталі залежно від застосованого обладнання значно відрізняються умовами роботи, температурними, навантажувальними та іншими характеристиками.

З метою уніфікації, поліпшення якості та розширення виробництва індустріальних масел для промислового обладнання передбачена єдина система кваліфікації та їх позначення (ГОСТ 17479.4-87). Вона враховує міжнародні класифікації індустріальних масел за в'язкістю (SAE) та областями застосування мастильних матеріалів (API).

Згідно з ГОСТ 17479.4-87 залежно від призначення індустріальні масла поділяють на чотири групи: Л, Г, Н і Т, які розрізняються між собою за складом, фізико-хімічними і експлуатаційними властивостями та цільовим призначенням. В таблиці

ці 2.41 представлена класифікація індустріальних масел за призначенням.

Таблиця 2.41

## Класифікація індустріальних масел за призначенням

| Група | Призначення  |
|-------|--|
| Л     | Легконавантажені вузли (шпінделі, підшипники та спряжені з ними деталі)                  |
| Г     | Гідравлічні системи  |
| Н     | Напрямні ковзання  |
| Т     | Важконавантажені вузли (зубчасті та інші передачі, підшипники та спряжені з ними деталі) |

Залежно від величини кінематичної в'язкості при температурі 40 °С стандартом індустріальні масла поділяють на вісімнадцять класів (табл. 2.42).

Таблиця 2.42

## Класи в'язкості індустріальних масел

| Клас в'язкості | Кінематична в'язкість, мм <sup>2</sup> /с | Клас в'язкості | Кінематична в'язкість, мм <sup>2</sup> /с |
|----------------|---|----------------|---|
| 1              | 2   | 1              | 2   |
| 2              | 1,9...2,5                                 | 68             | 61,0...75,0                               |
| 3              | 3,0...3,5                                 | 100            | 90,0...110,0                              |
| 5              | 4,0...5,0                                 | 150            | 135,0...165,0                             |
| 7              | 6,0...8,0                                 | 220            | 198,0...242,0                             |
| 10             | 9,0...11,0                                | 320            | 288,0...352,0                             |
| 15             | 13,0...17,0                               | 460            | 414,0...506,0                             |
| 22             | 19,0...25,0                               | 680            | 612,0...748,0                             |
| 32             | 29,0...35,0                               | 1000           | 900,0...1100,0                            |
| 46             | 41,0...51,0                               | 1500           | 1350,0...1650,0                           |

Крім того, згідно ГОСТ 17479.4-87 передбачено розподіл індустріальних масел на п'ять підгруп: А, В, С, Д і Е залежно від складу масла та рекомендованої області застосування (табл. 2.43).

## Масла іншого призначення

*Таблиця 2.43*

Класифікація індустріальних масел за рівнем експлуатаційних властивостей

| Під-група | Склад масла  | Рекомендована область застосування   |
|-----------|--|--|
| 1         | 2  | 3  |
| А         | Нафтові масла без присадок   | Шпінделі, підшипники, гідросистеми, напрямні ковзання, зубчасті передачі промислового обладнання, умови роботи яких не ставлять особливих вимог до антиокислювальних та антикорозійних властивостей масел.   |
| В         | Нафтові масла з антиокислювальними та антикорозійними присадками   | Ті ж агрегати й вузли, умови роботи яких ставлять підвищені вимоги до антикорозійних та антиокислювальних властивостей масел   |
| С         | Нафтові масла з антиокислювальними, антикорозійними й протиспрацьовувальними присадками                  | Ті ж агрегати й вузли з переважним тертям ковзання, а також вузли тертя, де використовуються антифрикційні сплави кольорових металів, умови роботи яких ставлять підвищені вимоги до антиокислювальних, антикорозійних та протиспрацьовувальних властивостей масел |
| Д         | Нафтові масла з антиокислювальними, антикорозійними, протиспрацьовувальними та протизадирними присадками | Елементи промислового обладнання з переважним тертям кочення й ковзання, умови роботи яких ставлять підвищені вимоги до антиокислювальних, антикорозійних, протиспрацьовувальних та протизадирних властивостей масла   |

| <i>Продовження табл. 2.42.</i> |   |   |
|--------------------------------|---|---|
| 1                              | 2   | 3   |
| Е                              | Нафтові масла з протистрибковими присадками | Напрямні ковзання високоточних автоматизованих верстатів, умови роботи яких ставлять підвищені вимоги до антиокислювальних, адгезійних, протиспрацювальних, протизадирних та протистрибкових властивостей масел |

Відповідно до класифікації для позначень індустріальних масел виділяють чотири групи знаків, розділених між собою дефісом. Знак першої, тобто літера И, вказує на приналежність масел до індустріальних, знаки другої групи (Л, Г, Н, Т) характеризують масла за їх призначенням, знаки третьої групи (А, В, С, Д, Е) характеризують масла за експлуатаційними властивостями, знаки четвертої групи, тобто цифри, позначають клас в'язкості масла. Наприклад, позначення масла И-Г-А-32 (И-20А) означає: воно індустріальне (И); призначене для гідравлічних систем метало- та деревообладнання (Г); без присадок (А); належить до 32 класу в'язкості.

Асортимент індустріальних масел включає біля 100 найменувань. Найбільше розповсюдження в сільськогосподарському виробництві, машинобудівництві та інших сферах народного господарства одержали мало- та середньов'язкі масла групи Л і Г без присадок, характеристика окремих із яких наведена в таблиці 2.44.

Таблиця 2.44

## Характеристика окремих індустріальних масел

| Марка масла за ГОСТ 17497.4-89 | Кінематична в'язкість, мм <sup>2</sup> /с |          | Температура, °С   |                     | Густина кг/м <sup>3</sup> |
|--------------------------------|---|----------|-------------------|---------------------|---------------------------|
|                                | При 40°С                                  | При 50°С | спалаху, не нижче | застигання, не вище |                           |
| 1                              | 2   | 3        | 4                 | 5                   | 6                         |
| И-Л-А-7<br>(И-5А)              | 6...8                                     | 4...5    | 140               | -18                 | 870                       |

## Масла іншого призначення

| <i>Продовження табл. 2.44.</i> |          |         |     |     |     |
|--------------------------------|----------|---------|-----|-----|-----|
| 1                              | 2        | 3       | 4   | 5   | 6   |
| И-Л-А-10<br>(И-8А)             | 9...11   | 6...8   | 150 | -15 | 880 |
| И-Л-А-15<br>(И-12А)            | 19...25  | 10...14 | 170 | -30 | 880 |
| И-Л-А-32<br>(И-20А)            | 19...35  | 17...23 | 200 | -15 | 890 |
| И-Л-А-46<br>(И-30А)            | 41...51  | 28...33 | 210 | -15 | 890 |
| И-Л-А-68<br>(И-40А)            | 61...75  | 37...45 | 220 | -15 | 900 |
| И-Л-А-100<br>(И-50А)           | 90...110 | 47...55 | 225 | -15 | 910 |

Основне призначення деяких із них наведено нижче.

*Масла И-Л-А-7 та И-Л-А-10* застосовують для змащення найбільш розповсюджених високошвидкісних вузлів та механізмів, замащування волокон та для виробництва масел різного призначення. Їх також використовують у гідравлічних системах будівельних машин.

*Масло И-Л-А-15* служить для змащування шпінделів металорізальних верстатів, працюючих із частотою обертання до 5 тис. хв<sup>-1</sup>, підшипників малопотужних електродвигунів з кільцевою системою змащення, застосовують у гідросистемах верстатів і деяких сільськогосподарських машинах. Його також використовують для виготовлення масел з присадками та пластичних матеріалів.

*Масла И-Г-А-32, И-Г-А-46, И-Г-А-68, И-Г-А-100* застосовують як робочі рідини в гідравлічних системах верстатного обладнання, для змащення легко- та середньонавантажених зубчастих передач, пресів, напрямних кочення та ковзання верстатів й інших механізмів, де непотрібні спеціальні масла.

У зв'язку із застосуванням у гідравлічних системах сучасного промислового обладнання фільтрів тонкої очистки вказані

---

---

масла замінюють легованими мастильними матеріалами, що відповідають їм за в'язкістю.

*Масла И-Г-С-32 (ИГП-18), И-Г-С-46 (ИГП-30), И-Г-С-68 (ИГП-38, ИГП-49)* призначені для гідравлічних систем верстатів, автоматичних ліній, пресів. Використовують також для змащування високошвидкісних коробок передач, мало- та середньонавантажених редукторів та черв'ячних передач, варіаторів, електромагнітних і зубчастих муфт та інших вузлів і механізмів із збільшенням у 2...4 рази строків зміни. При необхідності можуть використовуватися в гідравлічних системах сільсько-господарської техніки.

Особливу групу індустріальних масел являють змащувальні матеріали для напрямних ковзання високоточних металорізальних верстатів, умови роботи яких відрізняються високими навантаженнями й можливістю дуже низьких швидкостей руху. Тому змащувальні матеріали для напрямних металорізальних верстатів містять так звані антистрибкові присадки, що знижують тертя при відносно низьких швидкостях руху.

Для змащування напрямних ковзання (швидкість переміщення 0,016...3,3 мм/с) та кочення металорізальних верстатів, передач ходової гвинт-гайка, верстатів високої точності та інших, де потрібна рівномірність повільних переміщень без ривків, а також для змащування пневматичного бурильного інструмента застосовують масла И-Н-Е-68 (ИНС<sub>п</sub>-40), И-Н-Е-100 (ИНС<sub>п</sub>-65), И-Н-Е-220 (ИНС<sub>п</sub>-110).

Для зубчастих і черв'ячних передач, коробок передач, редукторів, мотор-редукторів, зубчастих муфт, працюючих при середніх та високих навантаженнях, у тому числі і ударних, а також для всіх середньонавантажених елементів верстатного обладнання й автоматичних ліній використовують масла И-Т-Д-68 (ИР<sub>п</sub>-40), И-Т-Д-100 (ИР<sub>п</sub>-75) і И-Т-Д-220 (ИР<sub>п</sub>-150). Крім цього ці масла можна використовувати для змащування напрямних ковзання верстатів, за винятком верстатів високої точно-

сті, а також у циркуляційних системах змащення різноманітних механізмів, працюючих при підвищених навантаженнях.

### 7.2. Турбінні масла

Турбінні масла призначені для змащування і охолодження вузлів тертя парових, газових турбін, їх турбокомпресорів, турбоповітродувок, турбонасосів та генераторів електричного струму, а також виконують функції гідравлічних масел у системах регулювання роботи турбіни. Ці масла також використовують у циркуляційних та гідравлічних системах різноманітних промислових механізмах.

У турбінних установках змащувальні масла працюють у жорстких умовах при високій температурі (60...100°C), при високому навантаженні й кратності циркуляції масла, контактуючи при цьому з киснем повітря, вологою, металами й різноманітними хімічними активними речовинами. Тому турбінні масла повинні мати хорошу стабільність проти окислення, не утворювати стійких емульсій з водою та піни, мати добрі змащувальні, протиспрацювальні та протизадирні властивості і захищати металеві поверхні від корозії.

У сільськогосподарському виробництві найширше застосовують масла Т<sub>П</sub>-22<sub>с</sub> і Т<sub>П</sub>-30. Основний асортимент турбінних масел Т<sub>П</sub>-22<sub>с</sub> (ТУ 38, 101821-83), Т<sub>П</sub>-30 і Т<sub>П</sub>-46 (ГОСТ 9972-71) одержують з парафінових нафт із застосуванням очистки селективним розчинником з додаванням антиокислювальних, десмульгуючих, антикорозійних та інших присадок. При легких умовах роботи по навантаженню й температурі застосовують масла без присадок. Їх виготовляють із високоякісних малосірчистих безпарафіністих нафт шляхом кислотної очистки з доочисткою землею. Основні фізико-хімічні властивості турбінних масел й область їх застосування наведені в табл. 2.45.

Таблиця 2.45

Фізико-хімічні властивості й область застосування  
турбінних масел

| Марка масла | Кінематична в'язкість при 50°C, мм <sup>2</sup> /с | Індекс в'язкості | Температура, °C   |                     | Кислотне число, мг КОН/г, не більше | Область застосування  |
|-------------|--|------------------|-------------------|---------------------|-------------------------------------|---|
|             |  |                  | спалаху, не нижче | застигання, не вище |                                     |   |
| Тп-22с      | 20...23  | 90               | 186               | -15                 | 0,10                                | Високооборотні парові турбіни турбокомпресорні машини, відцентрові компресори, гідросистеми металорізального обладнання         |
| Тп-22       | 20...23  | 70               | 180               | -15                 | 0,02                                |   |
| Тп-30       | 28...32  | 90               | 190               | -10                 | 0,50                                | Газотурбіни, низькооборотні парові турбіни, турбо- і відцентрові компресори в парі з високооборотними навантаженими редукторами |
| Т-30        | 28...32  | 65               | 180               | -10                 | 0,02                                |   |
| Тп-46       | 44...48  | 90               | 220               | -10                 | 0,5                                 | Допоміжні системи турбоустановок з частотою обертання до 1500 хв. <sup>-1</sup>   |
| Т-46        | 44...48  | 60               | 195               | -10                 | 0,02                                |   |

### 7.3. Обкаточні масла

Для забезпечення надійної і економічної експлуатації двигунів необхідна заводська і післяремонтна технологічна обкатка. При все зростаючому випуску тракторних і автомобільних двигунів заводська обкатка обмежується звичайно 1...2 год, а основне припрацювання деталей проходить в початковий період експлуатації техніки на почасткових навантаженнях.

В процесі прироблення зменшується шорсткість, змінюються фізико-хімічні властивості поверхневих шарів металу, утворюються захисні плівки на третьових поверхнях деталей. Крім того, в деякій мірі виправляються погрішності механічної обробки, спотворення геометричної форми і неточності взаємного розташування деталей.

Важлива умова повного прироблення – правильний вибір швидкісного, навантажувального і температурного режимів, які повинні забезпечувати обкатку без підвищеного зносу поверхонь тертя. Велике значення має і якість змащувальних матеріалів, що використовуються, оскільки початкова робота з'єднань проходить в умовах змішаного (граничного, рідинного і сухого) тертя.

Найсприятливіші умови обкатки будуть тоді, коли масло має добру прокачуваність, охолоджуючі властивості і в той же час створює на поверхнях тертя надійну масляну плівку. Цим вимогам задовольняють масла середньої в'язкості: 25...60 мм<sup>2</sup>/с при 50 °С. Обкатку дизелів потрібно проводити на маслах з в'язкістю 40...45 мм<sup>2</sup>/с при 50°С і 8 мм<sup>2</sup>/с при 100°С. Для менш навантажених карбюраторних двигунів краще використовувати масла в'язкістю 30...40 мм<sup>2</sup>/с при 50°с і 6 мм<sup>2</sup>/с при 100 °С. Широко вживані для обкатки на моторобудівних і ремонтних заводах моторні масла не володіють достатніми припрацювальними і протизадирними властивостями, тому не вдається досягти повного припрацювання за короткий період заводської обкатки.

Як найповнішим вимогам задовольняє спеціальне обкатувальне масло ОМ-2 (ТУ 38101325—72), яке виготовляють на

---

---

базі зимового масла ДС-8 з введенням 2,5 % припрацьовувальної сірковмісної присадки (дипроксид), 2% ПМСя, або ПМС, і 2 % ЦИАТИМ-339, що поліпшує миючі властивості (лужне число масла більше 1,8 мг КОН/г при зольності 0,35%). Для зниження піноутворення додають піногасник ПМС-200А. В процесі обкатки на маслі ОМ-2 на деталі виділяється активна сірка, яка змінює структуру поверхневих шарів, утворюючи сульфіди металів, що володіють підвищеною пластичністю. Процес припрацювання істотно прискорюється. За період заводської обкатки повністю завершується припрацювання підшипників колінчастого валу, що обумовлює його низький знос при подальшій роботі на звичайних маслах.

Застосування одних тільки обкатувальних масел не прискорює припрацювання деталей циліндро-поршневої групи (особливо верхнього компресійного кільця) через підвищену їх зносостійкість, а також до значних відхилень геометричної форми. Прискорити обкатку можна, застосовуючи припрацьовувальні присадки до палива. Вони повинні бути ефективними, стабільними, легко розчинятися в паливі, не викликати корозію і знос деталей паливної апаратури.

У відповідності до ТУ 38 101368-73 виробляють припрацьовувальну присадку АЛП-2, що є розчином органічних сполук алюмінію в маслі. Вона придатна для обкатки карбюраторних двигунів. Підвищеними експлуатаційними властивостями (нижче температура застигання, краща фільтруємість) володіє присадка АЛП-3, в якій масло замінено дизель-ним паливом.

Припрацьовувальну присадку вводять в паливо в концентрації 2,5%. При згорянні палива утворюється окисли алюмінію з середнім розміром частинок 2 мкм. Твердість їх вище, ніж у поршневих кілець, гільз циліндрів. Тому за короткий період заводської обкатки відбувається повне припрацювання деталей циліндро-поршневої групи. Значно знижується угар масла, а також витрата нафтопродуктів в початковий період експлуатації тракторів. Якщо після капітального ремонту і обкатки двигуна СМД-62 із застосуванням звичайного палива угар масла в

середньому складав 2,5% витрати палива, то при використанні присадки АЛП-2 він скоротився до 0,8...1,0 %.

Краще всього для обкатки дизелів використовувати разом масло ОМ-2 і присадку АЛП-2. При цьому за 45...60 хв. відбувається повне припрацювання основних з'єднань двигуна, рівноцінне шестидесяти годинній експлуатаційній обкатці на звичайному маслі і паливі.

### 7.4. Компресорні масла

Компресорні масла використовують для змащення різноманітних вузлів та деталей компресорних машин, їх охолодження, а також для герметизації компресорного обладнання. Умови роботи масла в компресорі залежить від особливостей його конструкції, ступеня стиску й температури нагрівання.

Поршневі компресори забезпечують найвищі ступені стиску, тому при їх експлуатації ставлять підвищені вимоги до масла. Температура в зоні тертя сучасних теплонапружених вузлах компресорів досягає 220 °С. Під час роботи компресора масло, стикаючись з нагрітим повітрям, зазнає окислюючої дії кисню. Тому компресорне масло повинно мати високу температуру спалаху. Застосування нестабільних масел може викликати відкладення нагару на клапанах, поршнях, поршневих кільцях, що порушує нормальну роботу компресора. Утворення відкладень коксу поряд з термічною стабільністю масла залежить також від його в'язкості. Масла з меншою в'язкістю утворюють менше відкладень в системі нагнітання. Від в'язкості масла залежить також втрати енергії на тертя, спрацювання тертьових поверхонь деталей, ущільнення поршневих кілець, швидкість запуску компресора, температура поверхонь тертя.

Масла для компресорів одержують у вузькому діапазоні температур кипіння з нафтової сировини у вигляді вакуумних дисцилятів, ретельно очищених від асфальтенів та інших нестабільних компонентів. Масла для компресорів невеликої продуктивності не містять присадок. При використанні в тепло-

напружених поршневих компресорах масла містять антиокислювальні, антикорозійні, миючі та інші присадки.

Класифікація компресорних масел передбачає поділ їх на 4 групи залежно від умов застосування й температури нагрівання:

- 1 – помірний режим роботи при температурі нагнітання  $<160^{\circ}\text{C}$ ;
- 2 – те ж, при температурі нагнітання  $<180^{\circ}\text{C}$ ;
- 3 – важкі умови роботи при температурі нагнітання  $<200^{\circ}\text{C}$ ;
- 4 – компресори високого тиску при важких умовах роботи й температурі нагнітання  $<200^{\circ}\text{C}$ .

Таблиця 2.46

## Характеристика компресорних масел

| Марка масла              | Кінематична в'язкість при $100^{\circ}\text{C}$ , $\text{мм}^2/\text{с}$ | Індекс в'язкості | Кислотне число, мг КОН/г не вище | Температура, $^{\circ}\text{C}$ |                     | Область застосування  |
|--------------------------|--|------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------|---|
|                          |  |                  |                                  | спалаху, не нижче               | застигання, не вище |   |
| 1                        | 2  | 3                | 4                                | 5                               | 6                   | 7   |
| К-12<br>ГОСТ<br>1861-73  | 11...14  | -                | 0,15                             | 216                             | -25                 | Поршнєві компресори низького і середнього тиску (до 4 МПа) при температурі оточуючого повітря $-25^{\circ}\text{C}$ |
| К-19<br>ГОСТ<br>1861-73  | 17...21  | -                | 0,10                             | 245                             | -5                  | Поршнєві компресори середнього і високого тиску   |
| КС-19<br>ГОСТ<br>9243-75 | 18...22  | 92               | 0,02                             | 260                             | -15                 | Поршнєві компресори середнього і високого тиску   |

## Масла іншого призначення

| <i>Продовження табл. 2.46</i>      |                |    |      |     |     |   |
|------------------------------------|----------------|----|------|-----|-----|---|
| 1                                  | 2              | 3  | 4    | 5   | 6   | 7   |
| К-28<br>ОСТ<br>3801228<br>2-82     | 26...30        | 80 | 0,04 | 275 | -10 | Багатоступінч<br>асті поршневі<br>компресори<br>високого<br>тиску в тому<br>числі для<br>повітря-<br>розподільних<br>установок                  |
| К3-10<br>ТУ<br>38<br>401724-<br>88 | 8,8...<br>10,5 | 90 | 0,2  | 205 | -10 | Поршневі<br>тепло-<br>напружені<br>компресори, а<br>також<br>ротаційні<br>компресори<br>де необхідні<br>підвищені<br>змащувальні<br>властивості |

Відповідно до класифікації в маркуванні масел літера “К” означає приналежність до компресорних масел. Цифра після “К” за винятком першої групи, вказує групу масел, і наступна після дефісу цифра характеризує кінематичну в’язкість при 100 °С.

Приклади позначень:

- К-12 – масло компресорне, першої групи з класом в’язкості 12 при 100 °С;

- К3-10 – масло компресорне, третьої групи з класом в’язкості 10 при 100 °С.

Основні фізико-хімічні властивості застосування компресорних масел наведені в таблиці 2.46.

### 7.5. Масла для компресорів холодильних установок

У холодильних установках масла застосовують для змащування вузлів тертя компресорів, що перекачують холодоагенти – аміак, діоксид вуглецю, галогеноподібні (фреони) та ін.

Окрім змащення, вони забезпечують також відведення тепла від тертьових поверхонь та ущільнення компресійної камери. Діапазон застосування масел для компресорів холодильних машин дуже широкий: від невеликих холодильників з постійним завантаженням холодоагенту на весь строк служби до холодильників промислових установок.

До масел для холодильних компресорів ставлять специфічні вимоги, обумовлені безперервним контактом з холодоагентом та постійною зміною температури і тиску середовища. У таких умовах експлуатації особливе значення має хімічна стабільність масла в суміші з холодоагентом та розчинність масла в ньому при низьких температурах. Зокрема масла для перспективних низькотемпературних холодильних установок повинні бути розчинні у таких холодоагентах, як R22 та R502 при температурах  $-50^{\circ}\text{C}$ ,  $-60^{\circ}\text{C}$  у кількості, що відповідає виносу масла у випарнику (приблизно 10%). Компресори холодильних установок працюють без доступу повітря, тому окислювальні процеси в маслі незначні. Однак термічні навантаження на масло досягають великих значень. При стиску холодоагенту температура масла в камері стиснення може досягти  $160^{\circ}\text{C}$  та вище, тому воно повинно мати достатньо високу в'язкість. У той же час, враховуючи можливість попадання масла у випарник, підвищені вимоги ставлять до низько-температурних властивостей системи масло-холодоагент.

При низьких температурах масло повинно бути плинним, не виділяти кристали парафіну та мати низьку температуру застигання, щоб не застигати на охолоджених поверхнях випарника. На низькотемпературні властивості негативно впливає волога, тому перед застосуванням масла для холодильних установок повинні бути ретельно висушені.

Масла для холодильних установок являють собою високоочищені нафтопродукти, одержані в основному на нафтеновій основі. Для кращої сумісності з галогенованими холодоагентами та для запобігання можливому утворенню відкладень мінеральні масла піддають депарафінізації. Для компресорів холодильних

## Масла іншого призначення

установок нафтопереробні підприємства випускають масла серії ХА та ХФ (ГОСТ 5546-86) (табл. 2.47). Крім того застосовують синтетичне масло ВНИИНЛ ХС-40 (ТУ 38 101763-78) і нафтове масло ХМ-35 (ТУ 38 1011158-88).

*Таблиця 2.47*

Характеристика масел для компресорів холодильних установок

| Марка масла  | Кінематична в'язкість при 50°C, мм <sup>2</sup> /с | Температура, °C   |                      | Область застосування  |
|--------------|--|-------------------|----------------------|---|
|              |  | спалаху, не нижче | застигання, не нижче |   |
| ХА (фригус)  | 11,5...14,5  | 190               | -37                  | Компресори, які працюють на аміаку або СО <sub>2</sub> .                        |
| ХА-30        | 28...32  | 185               | -38                  | Компресори, які працюють на фреоні 12 з температурою конденсації не вище -50°C. |
| ХФ-12-16     | ≥16  | 174               | -42                  | Компресори, які працюють на фреоні 12 з температурою конденсації не вище -50°C. |
| ХФ-22-24     | 24,5...28,4  | 130               | -55                  | Компресори, які працюють на фреоні 22 з при температурі кипіння до -70°C.       |
| ВНИИНЛ ХС-40 | 37...42  | 200               | -45                  | Компресори, які працюють при температурах від -50°C до 150°C.                   |
| ХМ-35        | 32...37  | 190               | -37                  | Для компресорів судових холодильних машин.                                      |

---

---

## 7.6. Електроізоляційні масла

До електроізоляційних масел належать трансформаторні, конденсаторні, кабельні та для електричних масляних вимикачів. Як рідкі діелектрики їх застосовують в ролі ізолюючих засобів струмонесучих частин електрообладнання (силових трансформаторів і реакторів, вимірювальних трансформаторів струму й напруги, конденсаторів, кабелів, масляних вимикачів тощо). Такі масла забезпечують відведення теплоти, а також сприяють швидкому гасінню електричної дуги в масляних вимикачах.

*Трансформаторні масла.* Характерні для сучасних трансформаторів жорсткі умови роботи – вплив електричного поля, нагрівання масла – поряд з вимогами забезпечення високої надійності й довговічності обладнання обумовлюють підвищення вимог до якості застосовуваного масла.

Під час роботи трансформатора в його осерді та обмотках виникають втрати електричної енергії, внаслідок яких трансформатор нагрівається. Тому особливою функцією трансформаторного масла, крім ізоляції, є відведення тепла шляхом примусової циркуляції або термосифонного охолодження. Для забезпечення ефективного тепловідведення в трансформаторах застосовують малов'язкі мінеральні масла (до  $30 \text{ мм}^2/\text{с}$  при  $20^\circ\text{C}$ ) з добрими низькотемпературними властивостями. Температура застигання вітчизняних трансформаторних масел відповідно до вимог міжнародної електричної комісії (МЕК) не перевищує  $-45^\circ\text{C}$ .

При змінному електричному полі в трансформаторному маслі, як у будь-якому діелектрику, виникають втрати енергії, пов'язані з процесами поляризації атомів і молекул. У добре очищених маслах, що не містять вологи, дуже мало полярних речовин, тому діелектричні втрати в них дуже незначні. Однак вони можуть помітно зростати із старінням масла в процесі роботи електрообладнання. Утворені в маслі продукти окислення погіршують його електроізоляційні та тепловідвідні властивості. Тому до найважливіших якісних характеристик трансформа-

торних масел належить висока стійкість проти окислення. Для підвищення стабільності масел проти окислення в них додають антиокислювальну присадку іонол, яка не впливає помітно на діелектричні властивості масел.

Тангенс кута діелектричних втрат є показником якості масла, чутливим до наявності в ньому різноманітних забруднень.

Визначення  $\text{tg}\sigma$  дозволяє виявити незначні зміни властивостей масла навіть при невеликому забрудненні, які не визначаються хімічними методами контролю.

Як сировину для одержання трансформаторних масел використовують високоочищені дистиляти переважно з мало-сірчистих безпарафінових нафт, які википають при 280... 420 °С.

*Масла для електричних масляних вимикачів.* Масла для вимикачів застосовують для захисту контактів вимикачів високовольтних ланцюгів від перегорання, викликаного іскрінням, а також для швидкого вимикання електроенергії. Лише малов'язкі електроізоляційні масла, що мають достатню плинність при робочих температурах, здатні охолоджувати електричну дугу, яка виникає при розмиканні електродів. Щоб уникнути корозії контактів, масла для вимикачів не повинні мати корозійно-агресивне середовище.

*Кабельні масла.* У високовольтних кабелях як просочувальне та ізоляційне середовище застосовують спеціальні масла. Як і всі електроізоляційні масла, вони повинні мати хороші діелектричні властивості – низький тангенс кута діелектричних втрат та високу електричну міцність. Електрична міцність (напряга пробою), як міра ізоляційної властивості для вітчизняних масел залежно від області застосування, складає 150...210 кВ/см<sup>2</sup> (при частоті струму 30 Гц і температурі 20 °С).

Тривала експлуатація кабельних масел без зміни діелектричних властивостей забезпечується потрібною стабільністю їх проти окислення.

*Конденсаторні масла.* Для просочування та заповнення ізоляції багатьох конденсаторів застосовують конденсаторні масла.

Конденсаторні масла характеризуються високими діелектричними властивостями та стабільністю проти окислення. Згідно з ГОСТ 5775-68 випускають дві марки конденсаторних масел: сірчаноокислотної очистки з малосірчистих малопарафіністих нафт і фенольної очистки з низькотемпературною депарафінізацією з сірчистих парафіністих нафт з додаванням 0,2% антиокислювальної присадки іонолу.

Основні властивості та області застосування електроізоляційних масел наведені в табл. 2.48.

### **7.7. Консерваційні масла**

У сільськогосподарському виробництві частина машин (збиральні комбайни, посівні та інші машини, знаряддя) використовуються сезонно та більшу частину року перебувають на зберіганні. При перервах у використанні сільськогосподарських машин спрацьовування їх деталей не припиняється, а в деяких випадках, якщо зберігання машин організовано невірно, навіть збільшується.

Коли машини (механізми) не працюють, на робочих і неробочих поверхнях їх деталей створюються реальні умови для розвитку різноманітних корозійних процесів. У таких умовах експлуатації надійність роботи сільськогосподарської техніки багато в чому визначається ефективністю захисту металевих поверхонь від корозії.

Як захисні мастильні матеріали застосовують рідкі та пластичні продукти. Консерваційні рідкі мастильні матеріали на відміну від консерваційних пластичних мастил мають ряд переваг. Вони легко наносяться на поверхні деталей ручним або механічним способом без підігрівання і за необхідністю легко змиваються з них.

До консерваційних нафтових мастильних матеріалів ставлять такі вимоги:

- надійно захищати від корозії чорні, кольорові метали та їх сплави протягом заданих строків під час експлуатації машин і

## Масла іншого призначення

---

---

механізмів у різних режимах;

- бути вологостійкими та мати хорошу адгезію в широкому температурному діапазоні;
- бути нетоксичними, вибухо- й пожежобезпечними;
- не піддавати руйнівному впливу лакофарбові покриття, гумові ущільнення та інші матеріали.

Основними компонентами всіх видів захисних мастильних матеріалів є інгібітори корозії. Застосування інгібованих мастильних матеріалів для різноманітних видів виробів, умови їх зберігання та транспортування регламентуються нормативно-технічною документацією, а також спеціальними стандартами. Загальні вимоги до консервації металевих виробів у сільському господарстві викладені в ГОСТ 7751-85 «Зберігання техніки».

Досить широко для консервації застосовують технічний вазелін УН (ГОСТ 782-59). Аналогічні властивості і область застосування має масло ПВК (ГОСТ 19537-74), захисні властивості якого дещо поліпшені за рахунок введення протикорозійної присадки. Її можна наносити (в розплавленому стані або у вигляді бензинового розчину) на зовнішні поверхні тракторів і іншої сільськогосподарської техніки, що зберігається на відкритих майданчиках. Вона надійно оберігає поверхні від корозії протягом 1...2 років.

Рідкі масла консервацій К-17 (ГОСТ 10877-76), НГ-203 (ГОСТ 12238-77), НГ-204у (ГОСТ 18974-73) готують на основі мінерального масла з додаванням твердих вуглеводнів і різного типу захисних присадок. Вони володіють рядом переваг: можливість нанесення без підігріву, у тому числі в важкодоступні внутрішні перетини, не потрібне розконсервовування і т.д.

## Характеристика

| Марка масла                     | Кінематична в'язкість при 50°C, мм <sup>2</sup> /с | Кислотне число, мг КОН/г, не більше | Температура, °С   |                     |
|---------------------------------|--|-------------------------------------|-------------------|---------------------|
|                                 |  |                                     | спалаху, не нижче | застигання, не вище |
| <b>Трансформаторні:</b>         |  |                                     |                   |                     |
| ТКп                             | 9  | 0,02                                | 135               | -45                 |
| Масло адсорбційної очистки      | 5...9  | 0,02                                | 135               | -45                 |
| Масло селективної очистки       | ≤9   | 0,02                                | 150               | -45                 |
| Т-750                           | ≤8   | 0,01                                | 135               | -55                 |
| Т-1500                          | ≤8   | 0,01                                | 135               | -45                 |
| ГК                              | 9  | 0,01                                | 135               | -45                 |
| <b>Масла для вимикачів:</b>     |  |                                     |                   |                     |
| МВ                              | ≥2   | 0,02                                | 94                | -70                 |
| <b>Кабельні:</b>                |  |                                     |                   |                     |
| КМ-25                           | ≥23 при 50°C                                       | 0,06                                | 225               | -10                 |
| С-220                           | ≥50  | 0,02                                | 180               | -30                 |
| МН-4                            | <10  | 0,44                                | 135               | -45                 |
| <b>Конденсаторні:</b>           |  |                                     |                   |                     |
| Масло сірчано-кислотної очистки | 12   | 0,02                                | 135               | -45                 |
| Масло фенольної очистки         | 9  | 0,02                                | 150               | -45                 |

Масла іншого призначення

Таблиця 2.48

електроізоляційних масел

| Тангенс кута діелектричних втрат ( $\operatorname{tg}\sigma$ ) при 100°С, не більше | Область застосування  |
|---|---|
| <b>Трансформаторні:</b>   |   |
| 2,2   | Обладнання напругою до 500 кВ.  |
| 0,5   | Обладнання напругою до 220кВ  |
| 1,7   | Обладнання напругою до 220кВ.   |
| 0,5   | Обладнання напругою до 750кВ  |
| 0,5   | Обладнання напругою до 1500кВ   |
| 0,5   | Обладнання вищих класів напруги   |
| <b>Масла для вимикачів:</b>   |   |
| 0,5   | Вимикачі зовнішньої установки, що не мають підігріву в зимовий період                               |
| <b>Кабельні:</b>  |   |
| 0,01  | Для варіння просочувальних мас силових кабелів напругою до 35 кВ з паперовою ізоляцією              |
| 0,002   | Для заливання кабелів високого тиску  |
| 0,003   | Маслонаповнювальні кабелі низького і середнього тиску, з'єднувальні муфти підживлювальної апаратури |
| <b>Конденсаторні:</b>   |   |
| 0,005   | Заповнення і просочування ізоляції паперово-масляних конденсаторів                                  |
| 0,005   | Заповнення і просочування ізоляції паперово-масляних конденсаторів                                  |

При консервації з агрегатів зливають робоче масло, після чого промивають маслом К-17, надлишок зливають. Під свічки або форсунки двигунів заливають 60...80г масла і прокручують колінчастий вал двигуна від руки (5...6 оборотів). Заздалегідь відключають масляні фільтри.

Перспективно використання воскових складів ПЕВ-74 (ТУ 38 101103-71), захисної водно-воскової дисперсії ЗВД-13 (ТУ 38 101716-78). Вони призначені для консервації лакофарбових покриттів, металевих поверхонь, пластмасових деталей, гумотехнічних виробів. Наносять їх на підготовлені (миття, сушка) поверхні кистю, зануренням, розпилюванням. Гарантійний термін захисної дії при відкритому зберіганні техніки до 12 місяців.

Все ширше застосовують для консервації інгібіровані плівкові покриття типу НГ-216 (масплин) (ТУ 38 101427-76), у складі яких міститься інгібітор корозії. Вони утворюють на поверхні деталей захисну плівку, надійно оберігаючи метал від корозії. Покриття наносять розпиленням, зануренням, кистю. Після висихання товщина стінки складає 100...500 мкм.

Склад НГ-216 випускають трьох марок. Марки А і Б – напівтверді продукти чорного кольору, В – желеподібна, світло-коричнюва. Покриття А застосовують для захисту від корозії зовнішніх поверхонь металовиробів, що зберігаються на складах і на відкритих площадках в особливо жорстких умовах; покриття Б – для захисту зовнішніх поверхонь металовиробів, в тому числі підкузовної частини і двигуна, а також запчастин; покриття В – для захисту зовнішніх поверхонь металовиробів і запчастин, що зберігаються в середніх і легких умовах.

Для захисту прихованих перерізів кузовів автомобілів використовують склад НГМ-МЛ (ТУ 38 101767-84), який після застигання утворює напівтверду воскоподібну плівку. Аналогічний за призначенням є Мольвин-МЛ.

Для захисту від корозії прихованих порожнин автомобілів служить автоконсервант “Мовиль” (ТУ 6.151131-78). Він являє собою розчин присадки АКОР-1, окисленого петропатума, цере-

## Масла іншого призначення

---

---

зину, оліфи і ряду інших з'єднань в уайт-спіриті.

Особливу групу представляють робочо-консерваційні масла, які забезпечують не тільки тривалу консервацію двигунів, агрегатів трансмісії, але й надійну роботу в процесі експлуатації. Наприклад, присадку АКОР-1 (ГОСТ 15171-70), що являє собою 10% розчин технічного стеарину в мінеральному маслі, можна використовувати не лише як самостійним продукт для консервації техніки, але і як присадку, що надає консерваційні якості моторним маслам. В моторне масло вводять до 5% присадки АКОР-1 і прокручують двигун, при цьому на поверхні деталей утворюється захисна плівка.

В теперішній час створюють робочо-консерваційні масла для двигунів, агрегатів трансмісій, гідравлічної і гальмівної системи.

З введенням в масло до 30% присадки АКОР-1 отримують масла для зовнішньої консервації агрегатів тракторів, комбайнів і сільськогосподарських машин при зберіганні в самих різноманітних умовах.

# РОЗДІЛ 3

## Основи використання та експлуатаційні властивості технічних рідин

---

- 1. *Рідини для систем охолодження*
- 2. *Рідини іншого призначення*
- 3. *Спеціальні технічні рідини*

## **1. РІДИНИ ДЛЯ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ ДВИГУНІВ**

- 1.1. Призначення та основні вимоги до охолоджувальних рідин*
- 1.2. Використання води у якості охолоджувальної рідини*
- 1.3. Низькозамерзаючі охолоджувальні рідини*

### **1.1. Призначення та основні вимоги до охолоджувальних рідин**

При спалюванні палива в двигуні частина тепла йде на нагрів стінок камери згоряння та всього двигуна. При досягненні критичної температури двигун перегрівається, при цьому погіршується наповнення циліндрів та умови мащення, з'являється детонація, калильне запалювання, збільшується витрата палива та знижується потужність двигуна. Для підтримування нормальної температури двигуна його охолоджують, використовуючи для цього охолоджувальні рідини.

До охолоджувальних рідин висувають наступні вимоги:

- висока температура кипіння (щоб запобігти утворення парових пробок та втрат рідини);
- висока теплоємність та теплопровідність;
- висока хімічна та фізична стабільність;
- корозійна пасивність;
- не вступати в реакцію з гумовими деталями;
- оптимальна в'язкість;
- відсутність утворення накипу;
- низька вартість та недефіцитність;

---

---

- нетоксичність та пожежобезпечність.

При температурах вище нуля всім перерахованим вимогам відповідає вода, основними перевагами якої є нешкідливість, доступність, низька вартість. В'язкість води забезпечує легкість її циркуляції в системі охолодження. Вода володіє великою теплоємністю.

Поки ще немає охолоджувальної рідини, яка повністю відповідає б даним вимогам. Широке застосування в системах охолодження двигунів одержала вода, а при низьких температурах – низькозамерзаючі охолоджувальні рідини.

## 1.2. Використання води у якості охолоджувальної рідини

Найбільш розповсюдженою рідиною, що використовується для охолодження, є вода. Вона має саму високу теплоємність  $4,19 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C})$ , більшу теплопровідність, невелику кінематичну в'язкість ( $\nu_{20^{\circ}\text{C}} = 1 \text{ мм}^2/\text{с}$ ) та більшу теплоту випаровування.

При використанні води в якості охолоджувальної рідини утворення відкладень в системі охолодження двигуна визначається в основному наявністю розчинених у воді солей, що утворюють накип.

Використовувати технічну воду слід після попередньої її пом'якшення (кип'ятіння, обробки вапном та содою) або з додаванням протинакипних присадок (антинакипинів). Наприклад, калієвий хромпик  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  при концентрації його від 5 до 10 г в 1 л води здатний перетворювати солі у речовини, що не утворюють накип.

Використання любого антинакипина повинна випереджати очищення системи охолодження від утвореної раніше накипи.

На рис. 3.1 приведена схема установки для пом'якшення жорсткої води.

## Рідини для систем охолодження двигунів

Вода, як охолоджувальна рідина має переважне застосування, оскільки недефіцитна, має високу теплоємність, пожежобезпечна і нетоксична. Однак їй властиві суттєві експлуатаційні недоліки. Це – низька температура замерзання ( $0^{\circ}\text{C}$ ), що дуже ускладнює її застосування взимку. До того ж при замерзанні вода збільшує свій об'єм на 10 % (рис. 3.2), тому при утворенні льоду в системі охолодження виникає тиск до 200...300 МПа, що призводить до поломок двигуна і радіатора.

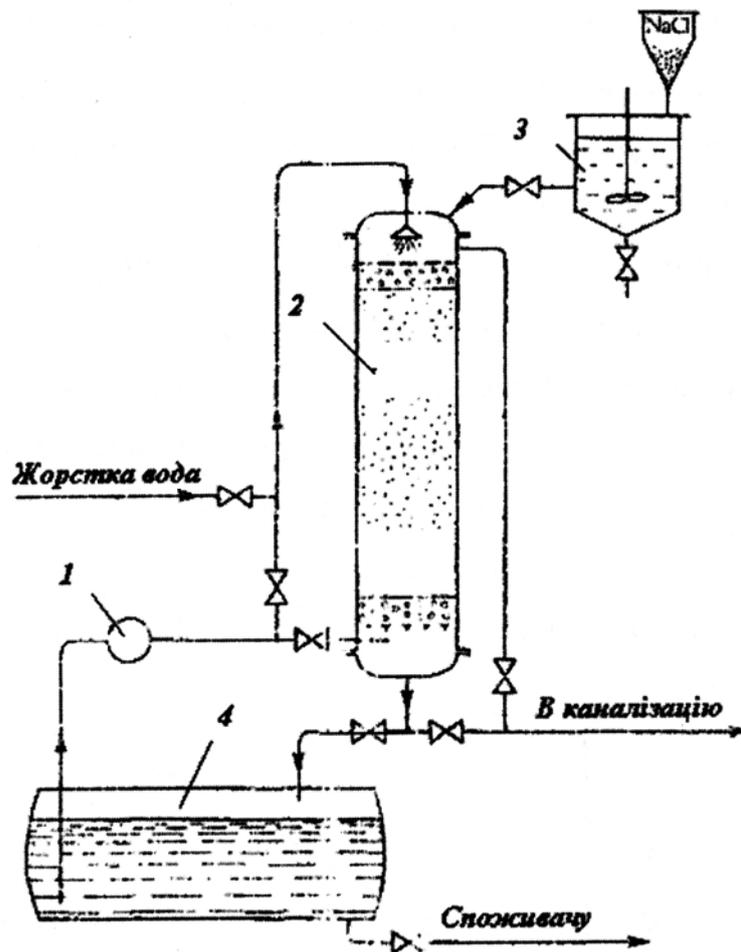


Рис. 3.1. Схема стаціонарної катіонітової установки для пом'якшення жорсткої води:

1 – насос; 2 – катіонний фільтр з сульфонованим вугіллям;  
3 – мішалка для приготування розчину повареної солі; 4 – збірник пом'якшеної води

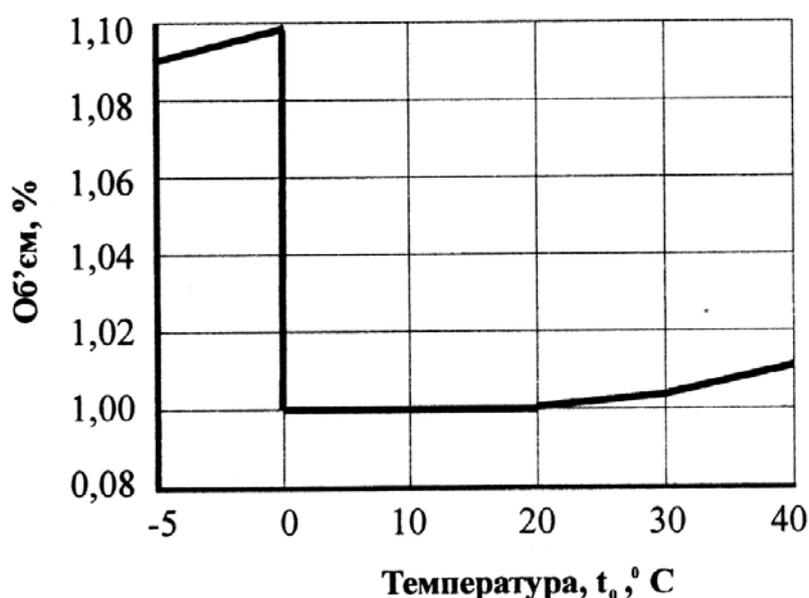


Рис. 3.2. Залежність об'єму води від температури

Низька температура кипіння веде іноді до закипання води в системі охолодження, інтенсивного випаровування і припинення циркуляції, внаслідок утворення парових пробок. Цей недолік води виявляється перш за все у жаркий періоді в гористій місцевості. Застосування закритої системи охолодження дозволяє підвищити температуру кипіння до 110...120<sup>0</sup>С.

Одним з найбільших недоліків води є здатність утворювати накипи на стінках деталей системи охолодження. Накип, маючи низьку теплопровідність (приблизно в 100 раз нижче чавуну), погіршує відведення тепла від стінок двигуна, порушуючи його тепловий режим, внаслідок чого при товщині шару накипу від 1,5 до 6 мм збільшується витрата палива на 9...20% (рис. 3.3), масла – на 15...40%, а потужність двигуна знижується на 10...20%.

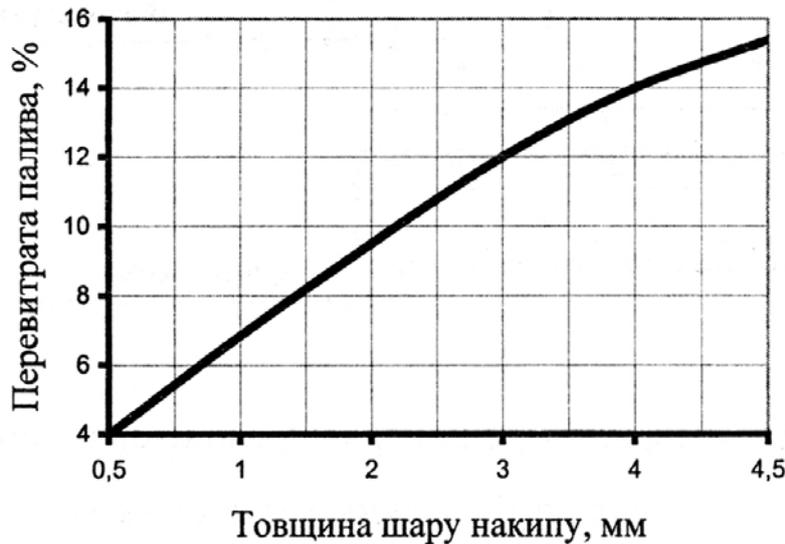


Рис. 3.3. Вплив накипу на перевитрату палива

Інтенсивність утворення накипу залежить від вмісту в воді розчинних солей, в основному кальцію і магнію, що характеризується твердістю води. Твердість води вимірюється в міліграм-еквівалент на 1 л (мг-екв/л). Вода, яка містить в 1 л 20,04 мг кальцію або 12,16 мг магнію має твердість, що дорівнює одному міліграм-еквіваленту.

Розрізняють тимчасову (карбонатну) і постійну (некарбонатну) твердість. Тимчасова твердість пов'язана з наявністю у воді бікарбонатів кальцію та магнію, які при нагріванні води до 80<sup>0</sup>С і вище розкладаються, утворюючи на стінках системи охолодження нерозчинну у воді накип у вигляді карбонатів кальцію і магнію.

Постійна твердість пов'язана з наявністю у воді некарбонатних солей: хлоридів і сульфатів кальцію та магнію, які не розкладаються при її нагріванні, а взаємодіючи з водою або солями, що знаходяться в ній, утворюють щільну і тверду накип.

Сума тимчасової і постійної твердості складає твердість або загальну твердість води, за якою її класифікують. Вода, яка має твердість до 3 мг-екв/л – м'яка, від 3 до 6 – середньої твердості, від 6 до 9 – тверда, більше 9 мг-екв/л – дуже тверда. За-

стосування в системі охолодження твердої води не бажано, дуже твердої – недопустимо.

Найбільш м'якою та чистою є дощова і снігова (атмосферна) вода, яка має твердість менше 0,04 мг-екв/л. Ця вода найкраще підходить для системи охолодження, хоч і має дещо підвищені корозійні властивості внаслідок розчинених вуглекислого газу і кисню.

Вода рік, озер, ставків (поверхнева) найчастіше має невелику твердість від 0,5 до 5,0 мг-екв/л, тобто відноситься до води м'якої і середньої твердості. Накип майже не утворюється, але буває забруднена механічними і органічними домішками.

Вода з колодязів і джерел (підземна) частіше всього буває тверда і дуже тверда, тому її не можна застосовувати в системі охолодження без попередньої підготовки (пом'якшення).

Розрізняють термічний та хімічний способи пом'якшення води. Найпростішим термічним способом пом'якшення води є кип'ятіння її 20...30 хв, протягом цього часу бікарбонати кальцію та магнію переходять у карбонати и випадають в осад, який потім вилучають відстоюванням та фільтруванням. Це дозволяє знизити тимчасову твердість до 1,0...1,5 мг-екв/л.

Технічно складніший спосіб – перегонка води (одержання дистильованої води), коли розчинні солі залишаються в перегонному кубі.

Хімічні способи пом'якшення побудовані на методі осадження солей або катіонному обміні.

Обробка води содою  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  або тринатрійфосфатом  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  з наступним фільтруванням дозволяє вилучати з неї солі тимчасової і постійної твердості, знизити загальну твердість. На кожний 1 мг-екв/л твердості 1 л пом'якшеної води необхідно додати 53 мг соди і 55 мг тринатрійфосфату. Теплу (гарячу) воду перемішують з реагентом протягом 20...30 хв, відстоюють і фільтрують.

У промисловості широке застосування знайшов метод пом'якшення води фільтруванням через катіонові фільтри, тобто речовини, які здатні вступати в реакцію з іонами кальцію і

магнію. Як катіони використовують природні мінерали глауконіт або штучно виготовлені катіоніти, які називають пермутитами. Залишкова загальна твердість при використанні катіонітових фільтрів не більше 0,5...1,0 мг-екв/л.

Найпростішим, економічним і ефективним способом пом'якшення води є магнітна обробка. Суть її полягає в пропусканні води (не менше 6 разів) через магнітне силове поле в напрямку, перпендикулярному силовим лініям, в результаті чого солі, які знаходяться у воді, не утворюють накипу, а випадають у вигляді легкозмиваючого шламу. Крім того, під дією магнітного поля в обробленій воді руйнується раніше утворений накип. Для магнітної обробки води використовують апарати з постійним і електричним магнітами (рис. 3.4), вмонтованим у водопровідну мережу

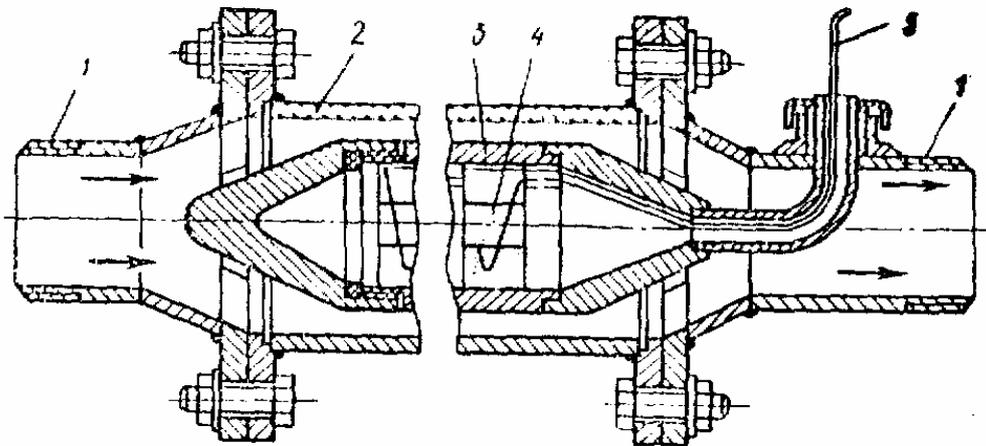


Рис. 3.4. Схема апарата для електромагнітної обробки води:  
1 – водопровідні трубу; 2 – корпус апарата; 3 – корпус магніта;  
4 – котушка електромагніта; 5 – електропровід

### 1.3. Низькозамерзаючі охолоджувальні рідини

В зимовий період експлуатації в системах охолодження двигунів використовують низькозамерзаючі охолоджувальні рідини – антифризи, що є сумішшю етиленгликоля з водою.

Етиленглицоль (двохатомний спирт  $\text{CH}_2\text{OH} - \text{CH}_2\text{OH}$ , або  $\text{C}_2\text{H}_4(\text{OH})_2$ ) являють собою маслянисту жовтувату рідину без запаху з температурою кипіння  $197^\circ\text{C}$  та температурою кристалізації  $-11,5^\circ\text{C}$ . Мінімальне значення температури замерзання суміші етиленглицоля з водою ( $-75^\circ\text{C}$ ) отримують при концентрації етиленглицоля  $66,7\%$  (рис. 3.5).

Етиленглицоль та його водні розчини при нагріванні сильно розширюються. Щоб запобігти викид суміші, її не доливають в систему охолодження на  $6...8\%$  від загального об'єму. Етиленглицолеві антифризи мають підвищену корозійність по відношенню до металів та руйнують гуму.

В склад антифризів вводять протикорозійні присадки: декстрин – вуглець типу крохмалю (1 г на літр), що зберігає від руйнування свинцево-олов'янистий припой, алюміній та мідь, і динатрій фосфат (2,5...3,5 г на літр), що захищують чорні метали, мідь і латунь.

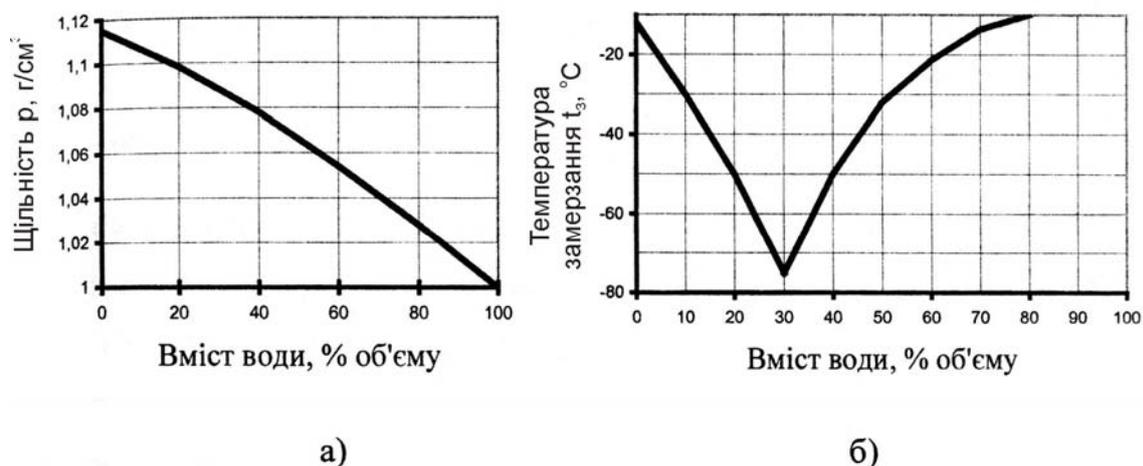


Рис. 3.5 Залежність щільності  $\rho$  при  $20^\circ\text{C}$  (а) і температури замерзання  $t_3$  антифризів від вмісту в них води (б)

Вперше для автомобілів ВАЗ в нашій країні був випущений антифриз “Тосол”, що містить протикорозійні, антипінну та антифрикційні присадки. “Тосол” виробляється трьох марок: АМ, А-40 і А-65М (табл. 3.1).

Рідини для систем охолодження двигунів

Таблиця 3.1

Основні показники деяких охолоджувальних рідин

| Показник  | “Тосол” (ТУ 6-02-751-86) |                 |                 | “Лена” (ТУ 113-07-02-88) |                 |                 |
|---|--------------------------|-----------------|-----------------|--------------------------|-----------------|-----------------|
|   | АМ                       | А-40            | А65М            | ОЖ-К                     | ОЖ-40           | ОЖ-65           |
| Колір   | Голубий                  |                 | Червоний        | Жовто-зелений            |                 |                 |
| Щільність при 20 <sup>0</sup> С, г/см <sup>3</sup>                                      | 1120...<br>1140          | 1075...<br>1085 | 1085...<br>1095 | 1120...<br>1150          | 1075...<br>1085 | 1085...<br>1100 |
| Температура початку кристалізації, <sup>0</sup> С, не вище                              | - 40                     | - 65            | -               | - 40                     | - 65            | -               |
| Резерв лужності, см <sup>3</sup> , не вище  | 10                       | 10              | 10              | 10                       | 10              | 10              |
| Корозійні втрати металів при випробуваннях на пластині, мг/см <sup>2</sup> , не більше: |                          |                 |                 |                          |                 |                 |
| - міді  | 10                       | 10              | 10              | 7                        | 7               | 7               |
| - припою  | 12                       | 12              | 12              | 12                       | 12              | 12              |
| - алюмінію  | 20                       | 20              | 20              | 10                       | 10              | 10              |
| - чавуну  | 10                       | 10              | 10              | 7                        | 7               | 7               |
| Склад, %:   |                          |                 |                 |                          |                 |                 |
| - етиленглицоль   | 97                       | 56              | 64              | 96                       | 56              | 65              |
| - вода  | 3,0                      | 44              | 36              | 3                        | 44              | 35              |

Іноді в прості антифризи вводять молібденовий натрій в кількості 7,5...8,0 г на літр, що запобігає корозії цинкових та хромових покриттів на деталях системи охолодження. При цьому в позначенні антифризу додають літеру М.

---

---

Вітчизняна промисловість випускає прості та дешеві антифризи марок 40 і 65 М (ГОСТ 159-52). Антифризи марки 40, що являють собою суміш 56% етиленгликоля та 44% води, мають температуру замерзання нище  $-40^{\circ}\text{C}$ , а антифриз марки 65М, що містить 64% етиленгликоля та 36% води,  $-65^{\circ}\text{C}$ .

З 1988 року випускається антифриз “Лена” трьох марок: ОЖ-К, ОЖ-40 та ОЖ-65. Оскільки антифризи різняться за рецептурою, змішувати різні марки між собою не слід. При використанні антифризів слід мати на увазі, що в системі охолодження в першу чергу випаровується вода, яку необхідно періодично доливати в радіатор. Необхідно також слідкувати за тим, щоб в етиленгликолевій рідині не потрапляли бензин та інші нафтопродукти, тому що це викликає вспінення та викид рідини через пробку радіатора.

Строк служби охолоджувальних рідин обмежується. Дослідним шляхом встановлено, що “Тосол” надійно працює два роки, а при інтенсивній експлуатації – протягом 60 тис.км пробігу.

*Етиленгликоль* – сильна харчова отрута, тому після контакту з ним необхідно ретельно вимити руки з милом.

При експлуатації в першу чергу випаровується вода, це змінює склад, а отже, і температуру застигання антифризу. Температурний коефіцієнт об’ємного розширення у антифризів більший, ніж у води, тому заливати його слід на 5...8% менше, чим води, або використовувати в системі охолодження розширювальний бачок. Неможливо допускати потрапляння в антифриз нафтопродуктів, тому що в цьому випадку розпадаються присадки.

## 2. РІДИНИ ІНШОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

### *2.1. Гальмівні рідини*

### *2.2. Амортизаторні рідини*

#### **2.1. Гальмівні рідини**

Для гідрогальмівної системи автомобіля (рис. 3.6) виробляють гальмівні рідини на касторовій гликолевій основі. Рідини на касторовій основі мають хороші мастильні властивості та не викликають набухання або роз'їдання гумових деталей гальмівної системи автомобілів.

В 40-х роках ХХ століття в Росії була вперше випущена і до цього часу широко використовується гальмівна рідина БСК, що являє собою суміш 50% бутилового спирту та 50% касторового масла і яка володіє гарними мастильними властивостями. Недоліком цієї рідини є те, що при  $-20^{\circ}\text{C}$  касторове масло випадає в осадок, що може призвести до поломки гальмівної системи.

Спеціально для автомобілів ВАЗ була випущена гальмівна рідина “Нева” на гликолевій основі з в'язкими та антикорозійними присадками, працездатна в широкому діапазоні температур від  $-50^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ . Пізніше була випущена гальмівна рідина “Томь”, що переважає “Неву” по низькотемпературним властивостям.

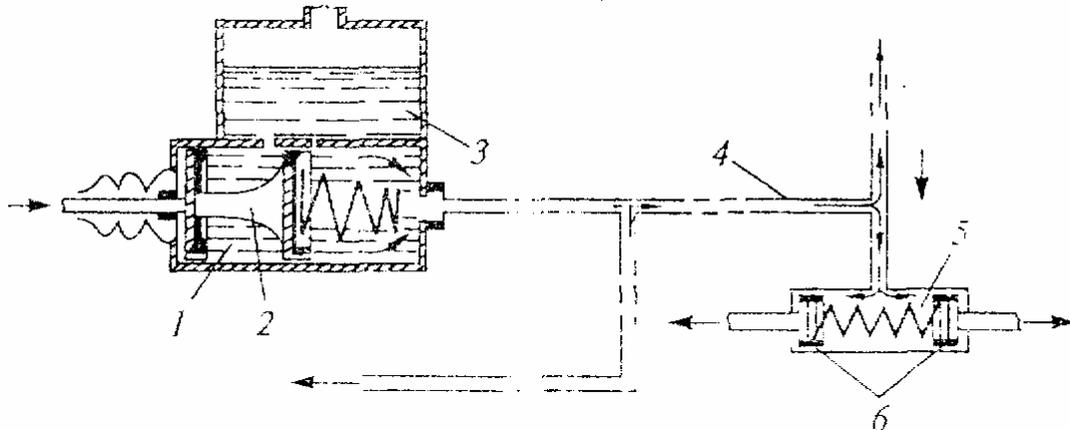


Рис. 3.6. Схема гідравлічного приводу гальмівної системи автомобіля:  
 1 – головний циліндр; 2 – поршень головного циліндру; 3 – резервуар з рідиною; 4 – трубопровід; 5 – робочий циліндр; 6 – поршні робочого циліндру

Всесвітнім стандартом відповідає гальмівна рідина “Роса”, що випускається в Росії.

Рідини на гліколевій основі вогнебезпечні та токсичні.

Характеристики вітчизняних гальмівних рідин приведені в табл. 3.2.

Рідина гальмівна “Нева” (ТУ 6-01-1163-82) – складна композиція на гліколевій основі (етилкарбітол) з загущуючою й антикорозійною присадками. Призначена для гідравлічної системи приводу гальм та зчеплення вантажних і легкових автомобілів (крім ГАЗ-24 випуску до 1985 р. через несумісність з гумовими ущільнюваннями гідропривода гальм).

Рідина гальмівна ГТЖ-22М (ТУ 601-787-75) виробляється на гліколевій основі. За показниками близька до “Неви”, але має гірші антикорозійні властивості.

Рідина гальмівна “Томь” (ТУ 6-01-1276-82) являє собою складну суміш з етилкарбітолу, ефірів борної кислоти з в’язкісною та антикорозійною присадками. Має кращі експлуатаційні властивості, ніж “Нева”. Сумісна з “Невою” при змішуванні у будь-яких співвідношеннях.

Рідина гальмівна “Роса” (ТУ 6-05-221-569-84) – високо-температурна гальмівна рідина, що являє собою композицію на

## Рідини іншого призначення

основі сполук, що містять бор, з антиокислювальною й антикорозійною присадками. Призначена для гальмівних гідравлічних систем різних автомобілів, працездатна в інтервалі температур навколишнього середовища від  $-50^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ .

*Таблиця 3.2*

### Характеристики основних марок вітчизняних гальмівних рідин

| Показник  | БСК (ТУ 6-101533-75)  | “Нева” (ТУ 6-01-1163-82)   | “Томь” (ТУ 6-01-1276-82) | “Роса” (ТУ 6-05-221-569-84)  |
|---|---|--|--------------------------|--|
| 1   | 2   | 3  | 4                        | 5  |
| Загальний вигляд  | Прозора однорідна рідина червоного кольору без осадку та механічних домішок | Прозора однорідна рідина світло-жовтого кольору без осадку. Марки повністю сумісні між собою |                          | Прозора однорідна рідина від світло-жовтого до світло-коричневого кольору без осадку |
| В'язкість кінематична, $\text{мм}^2/\text{с}$<br>- при $-40^{\circ}\text{C}$ , не більше<br>- при $50^{\circ}\text{C}$ , не менше<br>- при $100^{\circ}\text{C}$ , не менше | 130 (при $0^{\circ}\text{C}$ )<br>9<br>5,5 (при $70^{\circ}\text{C}$ )      | 1500<br>5<br>2   | 1500<br>5<br>2           | 1700<br>5<br>2   |
| Температура кипіння, $^{\circ}\text{C}$ , не вище   | 115   | 190  | 205                      | 260  |
| Температура кипіння “зволоженої” рідини, $^{\circ}\text{C}$ , не нижче  | -   | 138  | 160                      | 165  |
| Зміна об'єму після старіння в гальмівній рідині, %<br>- гуми 51-1524<br>- гуми 7-2462   | -<br>5...10   | 2...10<br>2...10   | 2...10<br>2...10         | -<br>-   |

| <i>Продовження табл. 3.2.</i>                                   |     |     |     |     |
|---|-----|-----|-----|-----|
| 1   | 2   | 3   | 4   | 5   |
| Зміна маси металевих пластинок, мг/см <sup>2</sup> , не більше: |     |     |     |     |
| - білої жерсті  | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,2 |
| - сталі 10  | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,2 |
| - алюмінієвого сплаву   | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| - чавуну  | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,2 |
| - міді  | 0,4 | 0,5 | 0,4 | 0,4 |
| - латуні  | 0,4 | 0,5 | 0,4 | 0,4 |

Примітка. Допускається додавати 20% етилового спирту в рідині “Нева” і “Томь” при температурі навколишнього середовища нижче  $-40^{\circ}\text{C}$ .

Рідина гальмівна БСК (ТУ 6-101533-75) являє собою суміш рівних частин рицинової олії і бутанолу з додаванням органічного барвника. Застосовують для гідропривода гальмівних систем і зчеплень вантажних та легкових автомобілів, крім автомобіль “Жигулі”. Рідина працездатна в зонах помірного клімату з температурою навколишнього середовища не нижче  $-20^{\circ}\text{C}$ .

Рідина “Нева”, “Томь” і “Роса” сумісні, змішування їх між собою можливе в будь-яких співвідношеннях. Змішування вказаних рідин з БСК недопустиме, бо призведе до розшарування суміші.

Властивості гальмівних рідин на основі полігліколей регламентується різними міжнародними специфікаціями (SAE 1703, JAN 80, ДОТ-3, ДОТ-4, ДОТ-5, ISO 4952). Усі специфікації аналогічні одна одній і розрізняються лише значеннями низькотемпературної в'язкості, мінімальної температури кипіння чистої гальмівної рідини та температури кипіння після зволоження.

Зарубіжними аналогами рідин “Нева” і “Томь” є рідини, що відповідають класифікації ДОТ-3, а для рідини “Роса” – ДОТ-4.

## 2.2. Амортизаторні рідини

Амортизаторні рідини являють собою малов'язкі масла, якими заповнюють гідравлічні амортизатори. Вони повинні володіти хорошими мастильними та антикорозійними властивостями, мати низьку температуру застигання та достатню в'язкість при температурі до  $100^{\circ}\text{C}$ , стабільність, яка забезпечує надійну роботу до 100 тис.км пробігу автомобіля.

Основними показниками для амортизаторних рідин являється в'язкість. Більшість робочих рідин мають наступні значення в'язкості: при температурі  $20^{\circ}\text{C}$  –  $30\dots 60$   $\text{мм}^2/\text{с}$ ;  $50^{\circ}\text{C}$  –  $10\dots 16$   $\text{мм}^2/\text{с}$ ;  $100^{\circ}\text{C}$  –  $3,5\dots 6,0$   $\text{мм}^2/\text{с}$ . Високі вимоги пред'являються до в'язкості амортизаторної рідини при мінусових температурах. Так, при температурі  $-20^{\circ}\text{C}$  в'язкість не повинна перевищувати  $800$   $\text{мм}^2/\text{с}$ . При більш високій в'язкості робота амортизатора різко погіршується та відбувається блокування підвіски. Вже при температурі  $-30^{\circ}\text{C}$  в'язкість товарних амортизаторних рідин перевищує  $2000$   $\text{мм}^2/\text{с}$ , а при  $-40^{\circ}\text{C}$  досягає  $5000\dots 10000$   $\text{мм}^2/\text{с}$ . При таких температурах забезпечити необхідну в'язкість можуть тільки амортизаторні рідини на синтетичній основі.

На сучасних автомобілях встановлюють переважно гідравлічні амортизатори телескопічного типу. Амортизаторні рідини, що використовуються в них, працюють в жорстких умовах: при експлуатації автомобілів в південних районах влітку вони нагріваються до  $120\dots 140^{\circ}\text{C}$ , а при експлуатації взимку в північних районах їх температура може знижуватися до  $-60^{\circ}\text{C}$ . При цьому тиск рідини в амортизаторах автомобілів може досягати  $10$  МПа.

В якості амортизаторної рідини в автомобілях використовують нафтові малов'язкі масла (веретенне марки АУ) або суміш трансформаторного та турбінного масел у співвідношенні 1:1. Але ці масла мають недостатньо гарну в'язкісно-температурну характеристику: при зниженні температури їх в'язкість

сильно зростає, що призводить до жорсткої роботи амортизаторів.

Кращі експлуатаційні показники мають всесезонні амортизаторні рідини Аж-12т, Аж-16, МГП-10 і МГП-12 (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

Характеристики основних марок вітчизняних амортизаторних рідин

| Показник   | МГП-10<br>(ОСТ 38-1-<br>54-74) | Аж-12т (ТУ<br>38.101432-<br>75) | МГП-12 (ТУ<br>38.201465-<br>88) |
|--|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Щільність при<br>20 <sup>0</sup> С, г/см <sup>3</sup>                  | 930                            | -                               | 920                             |
| В'язкість кінематична,<br>мм <sup>2</sup> /с:                          |                                |                                 |                                 |
| - при -40 <sup>0</sup> С, не більше                                    | -                              | 6500                            | -                               |
| - при -20 <sup>0</sup> С, не більше                                    | 1000                           | -                               | 800                             |
| - при 50 <sup>0</sup> С, не менше                                      | 10                             | 12                              | 12                              |
| - при 100 <sup>0</sup> С, не менше                                     | -                              | 3,6                             | 3,9                             |
| Температура<br>застигання, <sup>0</sup> С, не<br>вище                  | -40                            | -52                             | -43                             |
| Температура займання<br>в закритому тиглі, <sup>0</sup> С,<br>не нижче | 145                            | 165                             | 140                             |

Рідина МГП-10, що виготовляється з високоочищеного мастила з присадками, що покращують його експлуатаційні властивості, була вперше виготовлена для автомобілів ВАЗ.

## 3. СПЕЦІАЛЬНІ ТЕХНІЧНІ РІДИНИ

*3.1. Пускові рідини*

*3.2. Скломиючі рідини*

*3.3. Мийні засоби*

*3.4. Рідини для видалення нагару з деталей двигуна*

### 3.1. Пускові рідини

Пускові властивості двигунів значно залежать від якості палив і масел, що застосовують. Пуск двигунів при низьких температурах полегшується при використанні бензинів з більшим вмістом легких фракцій, дизельних палив – з високим цетановим числом і моторних масел – з невисокою в'язкістю при низьких температурах. В зв'язку з цим все ширше застосовуються спеціальні рідини, які призначені для полегшення пуску двигунів при низьких температурах навколишнього повітря (нижче мінус 20...25<sup>0</sup>С). Вони повинні добре випаровуватися при низькій температурі і швидко займатися (від іскри) або самозайматися (від тиску), мати високі протикорозійні і протиспрацьовувальні властивості, бути стабільними при тривалому зберіганні.

Для того щоб мати такі властивості пускові рідини мають компоненти: етиловий спирт, суміш низькотемпературних вуглеводнів, ізопропілнітрат і застосовувати масла з протиспрацьовувальними і протизадирними присадками.

Етиловий ефір – це обов'язковий компонент більшості пускових рідин. Він має низьку температуру самозаймання, ви-

сокий тиск насиченої пари і широкі межі займання (за концентрацією пальної суміші).

Використання етилового ефіру в дизельному двигуні дозволяє знизити температуру самозаймання пальної суміші до 190...220<sup>0</sup>С.

У карбюраторних двигунах, під час їх пуску, використовують властивості етилового ефіру займатися в суміші з повітрям в широких межах концентрації. Це дозволяє досягти займання за допомогою іскри дуже бідних пальних сумішей.

З метою забезпечення постійного і послідовного займання в склад пускових рідин вводять ізопропілнітрат і суміш низькокиплячих вуглеводнів (петролейний ефір, газовий бензин тощо).

Ізопропілнітрат займається дещо пізніше етилового ефіру, але раніше основного палива. Суміш низькокиплячих вуглеводнів, повністю випаровуючись у циліндрі, займається дещо пізніше ізопропілнітрату, але також раніше основного палива. Наявність такого послідовного ланцюжка забезпечує підготовку основного палива до займання, що суттєво знижує швидкість наростання тиску. Оптимальне співвідношення ізопропілнітрату і суміші низькокиплячих вуглеводнів у пускових рідинах для дизельних і карбюраторних двигунів різне.

Зменшення спрацьовування деталей кривошипно-шатунного механізму в перший період пуску двигуна досягається введенням в склад пускових рідин масла, яке містить проти-спрацьовувальні і протизадирні присадки. Враховуючи більші питомі навантаження в дизельному двигуні пускова рідина для них повинна містити не менше 10% масла. Застосування такої рідини для карбюраторних двигунів призводить до “замаслювання” свічок запалювання, до перебоїв у запалюванні. В зв'язку з цим у пускових рідинах для карбюраторних двигунів вміст масла не повинен перевищувати 2%.

Випускають пускові рідини “Холод Д-40” для дизельних двигунів і “Арктика” для карбюраторних (табл. 3.4).

## Спеціальні технічні рідини

Таблиця 3.4

Склад пускових рідин, % за масою

| Компонент   | “Арктика” | “Холод Д-40” |
|---|-----------|--------------|
| Етиловий ефір   | 45...60   | 60           |
| Газовий бензин  | 35...55   | 15           |
| Ізопропілнітрат   | 1...5     | 15           |
| Масло з протиспрацювальними і протизадирними присадками | 2         | 10           |

Пускові рідини випускають у двох упаковках: в герметичних алюмінієвих ампулах ємкістю 20 і 50 мл (при введенні в двигун спеціальними пусковим пристроєм) і в аерозольній упаковці (для застосування без пускового пристрою). Останній вид легше в обслуговуванні і економічніше.

### 3.2. Скломиючі рідини

В якості скломиючої рідини зазвичай використовують воду. Але вода замерзає при температурі навколишнього середовища нижче нуля та надходить до форсунок системи змиву. Другим недоліком води є те, що вона в силу високого поверхневого натягнення погано змочує скло і у вигляді крапель стікає з нього. Для усунення цих недоліків випускають спеціальні скломиючі рідини, які представляють собою суміші води, спирту та миючі речовини. В якості спиртів за кордоном використовують етанол, метанол та ізопропанол. В Росії випускають рідини тільки з ізопропанолом. Виробники випускають, як правило, концентрати (60...80% спирту), які розбавляються водою в два – чотири рази. Оптимальною концентрацією можна вважати 10...29% спирту (в залежності від температури навколишнього середовища), що забезпечує нормальну подачу рідини до форсунок та гарну розтікаємість по склу.

---

---

### 3.3. Мийні засоби

Для видалення різноманітних технічних забруднень в системах, вузлах і механізмах використовують мийні засоби. Ці засоби можуть бути однокомпонентними та багатоконпонентними.

Для очищення двигуна при зміні масла використовують промивочне масло ВНИИ НП-ФД. При відсутності спеціального масла працюючий на холостому ході двигун промивають маслом з низькою в'язкістю типу МГ-22А (АУ) або індустріального, чи сумішшю з 10% дизельного палива та моторного мастила. Масляний радіатор промивають сумішшю з 75% бензину і 25% ацетону.

Паливний бак автомобіля промивають сильним струменем води, потім бензином, перемішуючи, а після тривалої експлуатації – ацетоном та гарячою водою.

Деталі карбюратора промивають, занурюючи на 20- 30 хв. в ацетон.

Існують і спеціальні миючі засоби, такі, як ТМС-31, Вертолин-74, які використовують для міжопераційного очищення металевих деталей від маслоподібних забруднень.

МС-4, МС-6 та Нефос – серія лабomidів, використовуються для очищення деталей при ремонті автомобілів від асфальто-смолистих та маслобрудних відкладень.

Засіб “Анкрас” очищує деталі камери згоряння від нагару.

В теперішній час автохімія пропонує споживачам широкий асортимент сучасних мийних засобів різноманітного напрямку.

### 3.4. Рідини для видалення нагару з деталей двигуна

Для видалення нагару з поршнів, поршневих кілець, головок блоку та інших деталей використовують різноманітні суміші та рідини.

Найбільш розповсюджені миючі засоби на основі каустич-

ної соди (їдкого натра) з додаванням рідкого скла, вуглекислого натрію та інших речовин. Але вони мають сильний корозійний вплив на деталі, виготовлені з алюмінію, кольорових металів або їх сплавів. Крім того, ці миючі склади токсичні, тому вимагають дотримання необхідних заходів безпеки.

Миючу рідину виготовляють звичайно з розрахунку на 10 л води 100 г господарського мила, 100 г рідкого скла, 100 г кальцинованої соди та 10 г хромпіка. В таких сумішах деталі, що очищуються, витримують 2-3 години при температурі біля 80...85<sup>0</sup>С. після цього нагарні відкладення легко видаляються з деталей.

Синтетичні мийні засоби не викликають корозії металевих поверхонь, володіють здатністю значно знижувати поверхневе натягіння, легко проходять в пори нагару, інтенсивно розкладаючи відкладення, і крім того, являються нетоксичними та вибухонебезпечними. Серед них найбільше розповсюдження отримують миючі суміші марок МС-5, МС-6 та МС-8. Ці суміші неіоногенних поверхнево-активних речовин з добавками активних з'єднань у вигляді триполіфосфату натрію, кальцинованої соди та інших з'єднань. Такі миючі засоби використовуються у вигляді 1...2,5%-них водних розчинів.

При вимушеному користуванні твердою непом'якшеною водою утворення накипу можна зменшити додаванням таких присадок (антинакипинів), як хромпик (3...5 г на л води), який переводить солі накипу в розчинний стан, гексаметафосфат натрію (5...6 мг на 1 л води), який утримує солі накипу в завислому стані. Використання антинакипинів безпосередньо в системі охолодження особливо зручно в польових умовах експлуатації машин. З часом необхідно видаляти накип. Перед видаленням накипу необхідно повністю злити воду з усієї системи охолодження і вийняти термостат. Склад розчинів і режими видалення накипу наведені в табл. 3.5.

Таблиця 3.5

## Розчини та режими видалення накипу

| Склад розчину  | Кількість на 10 л води, г | Час, необхідний для руйнування накипу, год. |
|--|---------------------------|---|
| <b>Для всіх двигунів</b>                               |                           |   |
| Технічна молочна кислота                               | 600                       | 1,0...3,0                                   |
| Хромпik або хромовий ангiдрiд                          | 200                       | 8,0...10,0                                  |
| iнгiбована соляна кислота                              | 600...800                 | 0,5...1,0                                   |
| Сумiш:<br>- кальцинованої солi<br>- хромпiку           | 1000...1200<br>20...30    | 10,0...12,0                                 |
| Сумiш:<br>- фосфорної кислоти<br>- хромового ангiдрiду | 1000<br>50                | 0,5...1,0                                   |
| <b>Для двигунiв з чавунним блоком</b>                  |                           |   |
| Технічна соляна кислота                                | 250...300                 | 0,5...1,0                                   |
| Каустична сода   | 700...1000                | 7,0...10,0                                  |
| Сумiш:<br>- тринатрiйфосфату<br>- кальцинованої соди   | 450<br>550                | 10...20                                     |
| Тринатрiйфосфат  | 300...500                 | 2,0...3,0                                   |

Після зупинки двигуна розчин зливають, а систему охолодження промивають чистою водою 2...3 рази.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Антипенко А.М., Сорокін С.П., Поляков С.О. Властивості та якість паливо-мастильних матеріалів – Харків: ЧП Червяк, 2006. – 213 с.
2. Большаков Г.Ф. Восстановление и контроль качества нефтепродуктов. – Л.: Недра, 1982. – 350 с.
3. Борзенков В.А., Воробьев М.А., Никифоров А.Н. Нефтепродукты для сельскохозяйственной техники: Справочник. – М.: Химия, 1988. – 288 с.
4. Вавапов В.В., Вайншток В.В., Гуреев А.А. Автомобильные пластичные смазки. – М.: Транспорт, 1986. – 144 с.
5. Васильева Л.С. Автомобильные автоэксплуатационные материалы: Учебн. Для ВУЗов. – М.: Транспорт, 1986. – 279 с.
6. Газобаллонные автомобили / Е.Г. Григорьев, Б.Д. Колубоев, В.И. Ерохов и др. – М.: Машиностроение, 1989. – 216 с.
7. Гуреев А.А., Фукс И.Г., Лашхи В.Л. Химмотология. – М.: Химия, 1986. – 368 с.
8. Давлетьяров В.А., Зоря Е.И., Цагарели Д.В. Нефтепродуктообеспечение / Под ред. д.т.н., проф. Цагарели Д.В. – М.: Математика, 1988. – 662 с.
9. Зоря Е.И., Клейпер Г.Б., Скрицников А.В., Цагарели Д.В. Нефть, топливо, экономия. – М.: Математика, 1996. – 231 с.
10. Итинская Н.И., Кузнецов Н.А. Автотракторные эксплуатационные материалы. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1987. – 271 с.
11. Колосюк Д.С., Кузнецов А.В. Автотракторные топлива и смазочные материалы. – К.: Вища школа, 1987. – 191 с.
12. Кузнецов А.В., Кульчев М.А. Практикум по топливу и смазочным материалам. – М.: Агропромиздат, 1987. – 224 с.
13. Новоселов В.Ф. Контроль качества и количества нефтепродуктов. – М.: Недра, 1994. – 150 с.
14. Лышко Г.П. Топлива и смазочные материалы. – М.: Агропромиздат, 1985. – 336 с.

15. Мотовилин Г.В., Масико М.А., Суворов О.М. Автомобильные материалы: Справочник. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1989. – 464 с.
16. Окоча А.І., Антипенко А.М. Паливо-мастильні та інші експлуатаційні матеріали: Підручник. – К: Урожай, 1996. – 336 с.
17. Окоча А.І., Білоконь Я.Ю. Автотракторні витратні матеріали: Довідник. – К.: Фаза, 2002. – 102 с.
18. Плитман И.Б. Справочное пособие для работников автозаправочных и автомобильных газонаполненных станций. – М.: Недра, 1990. – 155 с.
19. Смазочные материалы. Антифрикционные и противоизносные свойства. Методы испытаний: Справочник / Р.М. Матвиевский, В.Л. Лащхи, И.А. Буяновский и др. – М.: Машиностроение, 1989. – 224 с.
20. Топливо, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение: Справочник / К.М. Базыштова, Я.А. Берштад, Ш.К. Богданов и др.; Под ред. В.М. Школьников. – М.: Химия, 1989. – 432 с.
21. Паливо-мастильні матеріали, технічні рідини та системи їх забезпечення / В.Я. Чабанний, В. А., Павлюк-Мороз В.А., С.О. Магопечь та ін. – Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2005. – 449 с.
22. Чулков П.В., Чулков И.П. Топливо и смазочные материалы: Ассортимент, качество, применение, экономика, экология. – М.: Политехника, 1995. – 302 с.

Навчальний посібник

**Чабанний В.Я., Магопець С.О., Мажейка О.Й.,  
Осіпов І.М., Солових Є.К., Аулін В.В.,  
Павлюк-Мороз В.А., Попов Г.А.**

**Паливо-мастильні матеріали, технічні  
рідини та системи їх забезпечення**

**КНИГА 1**

***ПАЛИВО-МАСТИЛЬНІ МАТЕРІАЛИ І ТЕХНІЧНІ РІДИНИ***

Під редакцією В.Я. Чабанного

Українською мовою

Технічні редактори: В.Я. Чабанний, І.М. Осіпов  
Коректор: В.Я. Чабанний  
Ком'ютерна верстка А.М. Тараненко

Здано в набір 12.01.2008 р. Підписано до друку 11.03.2008 р.  
Формат 60x84/16. Папір офсетний. Гарнітура Times. Друк офсетний.  
Ум. друк.арк. 20,23. Наклад 300 прим. Замовлення 258.

Набрано в Кіровоградському національному технічному університеті  
Зверстано танадруковано в КП «Центрально-Українське видавництво»  
Україна, 25006, м.Кіровоград, вул. Тимірязєва, 69.  
Тел.: (0522) 24-48-51, 24-25-96.