

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**БОЙЧЕНКО Сергій, ПУШАК Андрій
ТОПЛЬНИЦЬКИЙ Петро, ЛЮБІНІН Йосип
ЛЕЙДА Казимир**

**ОЛИВИ.
МОТОРНІ, ТУРБІННІ,
ГІДРАВЛІЧНІ ТА ТРАНСМІСІЙНІ:
ВЛАСТИВОСТІ ТА ЯКІСТЬ**

Рекомендовано до друку Вченою радою
Національного авіаційного університету

Київ 2019

DOI doi.org/10.18372/38010

УДК 665.71-021.3(02)

О 54

Автори:

Сергій Бойченко – д.т.н., проф., декан факультету екологічної безпеки, інженерії та технологій НАУ – вступ, розд. 2, 3, 4, 6, додатки (спільно з П. Топільницьким і Й. Любіним), загальне редагування;

Андрій Пушак – академік Української нафтогазової академії – розд. 1, 6 (спільно з П. Топільницьким і С. Бойченком);

Петро Топільницький – к.т.н., доцент, доцент кафедри хімічної технології нафти і газу НУ «Львівська політехніка» – розд. 1, 2, 4, 5, 6 (спільно з С. Бойченком);

Йосип Любінін – к.т.н., старший науковий співробітник – розд. 2, 4 (спільно з С. Бойченком);

Казимір Лейда – д.т.н., проф., завідувач кафедри двигунів внутрішнього згорання та транспорту Жешувського технологічного університету – розд. 1, 5 (спільно з С. Бойченком).

Рецензенти:

Marianna Jasuna — доктор технічних наук, професор

(*декан транспортного факультету,*

Варшавська Політехніка (Politechnika Warszawska, Poland));

Василь Матейчик — доктор технічних наук, професор

(*декан автомеханічного факультету,*

Національний транспортний університет, Україна);

Анатолій Ранський — доктор хімічних наук, професор

(*завідувач кафедри хімії та хімічної технології,*

Вінницький національний технічний університет, Україна)

Олег Гринишин — доктор технічних наук, професор

(*професор кафедри хімічної технології переробки нафти та газу,*

Національний університет «Львівська Політехніка», Україна);

Рекомендовано Вченою радою Національного авіаційного університету

Міністерства освіти і науки України (протокол від 20.02.2019 р. № 2)

О 54 **Оливи. Моторні, турбінні, гідравлічні та трансмісійні: властивості та якість.** Підручник / Сергій Бойченко, Андрій Пушак, Петро Топільницький, Йосип Любінін, Казимир Лейда; за редакцією проф. С. Бойченка. – К.: «Центр учбової літератури», 2019. – 323 с.

DOI doi.org/10.18372/38010

УДК 665.71-021.3(02)

О 54

Сергій Бойченко, Андрій Пушак,

Петро Топільницький, Йосип Любінін, Казимир Лейда, 2019

ISBN 978-617-673-902-9

© НАУ, 2019



ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень	5
Вступ	6
Розділ 1. ВЛАСТИВОСТІ ТА ЯКІСТЬ МОТОРНИХ ОЛИВ ...	11
1.1. Загальна характеристика мастильних матеріалів	11
1.2. Технологія одержання олиव	16
1.3. Загальна характеристика базових олив	20
1.4. Класифікація моторних олив	24
1.5. Властивості та якість моторних олив	40
1.5.1. Фундаментальні засади змащувальних властивостей олив ..	41
1.5.2. Фізико-хімічні властивості	48
1.5.3. Експлуатаційні властивості	53
1.6. Зміна якості олив під час використання	58
Питання для самостійної роботи	73
Розділ 2. ВЛАСТИВОСТІ ТА ЯКІСТЬ ТУРБІННИХ ОЛИВ.	74
2.1. Загальна характеристика, технічні вимоги, функції та призначення	74
2.2. Класифікація турбінних олив	76
2.3. Властивості та якість турбінних олив	86
Питання для самостійної роботи	110
Розділ 3. СИСТЕМИ ЗМАЩУВАННЯ АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ	111
3.1. Оливні системи ГТД та їх основні агрегати	116
3.1.1. Структура оливосистеми та її функції	116
3.1.2. Основні агрегати оливосистеми	119
3.2. Технічні вимоги до експлуатації систем змащування та олив для авіаційних двигунів	124
3.3. Номенклатура, властивості та якість олив для авіаційних двигунів	128
3.3.1. Фізико-хімічні та експлуатаційні властивості олив	134
3.3.2. Взаємозамінюваність олив	144
3.4. Методи аналізу якості олив для авіаційних двигунів	163
3.5. Загальна методологія випробування олив для авіаційних двигунів	177
Питання для самостійної роботи	184
Розділ 4. ВЛАСТИВОСТІ ТА ЯКІСТЬ ГІДРАВЛІЧНИХ ОЛИВ	185
4.1. Загальна характеристика, технічні вимоги, функції та призначення	185

4.2. Класифікація гідравлічних олиव	191
4.3. Склад та якість гідравлічних олив	202
4.4. Фізико-хімічні та експлуатаційні властивості гідравлічних олив	226
Питання для самостійної роботи	233
Розділ 5. ВЛАСТИВОСТІ ТА ЯКІСТЬ ТРАНСМІСІЙНИХ ОЛИВ	234
5.1. Загальна характеристика, технічні вимоги, функції та призначення	234
5.2. Класифікація турбінних олив	236
5.3. Властивості та якість трансмісійних олив	247
Питання для самостійної роботи	259
Розділ 6. ВЛАСТИВОСТІ ТА ЯКІСТЬ БІОЛОГІЧНИХ ОЛИВ	260
6.1. Загальна характеристика та основи технології отримання ...	260
6.2. Властивості та якість біологічних олив	263
Питання для самостійної роботи	276
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	277
ДОДАТКИ	286
Додаток 1. Основні терміни та визначення	286
Додаток 2. Порівняльні характеристики мінеральних і синтетичних олив	296
Додаток 3. Властивості олив, обумовлені присадками	297
Додаток 4. Формування товарних характеристик моторної оливи	299
Додаток 5. Взаємозв'язок показників якості олив і технічного стану двигунів	300
Додаток 6. Типова блок-схема регенерації олив	302
Додаток 7. Систематизація методів і обладнання для регенерації олив	303
Додаток 8. Зведена характеристика якості олив, взаємозв'язку якості з експлуатаційними властивостями і методи випробування	304

Перелік умовних скорочень

ММ	–	мастильний матеріал;
МОТЗ	–	мастильно-охолоджуючий технологічний засіб;
НПЗ	–	нафтопереробний завод;
ВВП	–	внутрішній валовий продукт;
ДВЗ	–	двигун внутрішнього згорання;
ГТД	–	газотурбінний двигун;
ТВД	–	турбо-вентиляторний двигун;
ТВВД	–	турбо-гвинтовентиляторний двигун;
ТРД	–	турбо-реактивний двигун;
ЛА	–	літальний апарат;
ЦА	–	цивільна авіація;
ПММ	–	паливно-мастильний матеріал;
API	–	American Petroleum Institute;
SAE	–	Society of Automobile Engineers;
ACEA	–	Асоціація європейських виробників автомобілів;
ILSAC	–	Міжнародний комітет зі стандартизації та схвалення ММ;
ААМА	–	Американська асоціація виробників автомобілів;
ЈАМА	–	Японська асоціація виробників автомобілів;
ISO	–	International organization for standardization;
ASTM	–	American Society for Testing and Materials;
FTMS	–	Federal Test Material Standard;
ТВ	–	технічні вимоги;
ТЗ	–	технічне завдання;
ПАО	–	поліальфаолефінові оливи;
ПЕО	–	поліефірні оливи;
ПГО	–	полігліколеві оливи;
ПАГО	–	поліалкілен-гліколеві оливи;
ААС	–	алкільовані ароматичні сполуки;
SIО	–	силіконові оливи;
ІВ	–	індекс в'язкості;
ВТХ	–	в'язкісно-температурна характеристика;
ТОС	–	термоокиснювальна стабільність;
ССЖК	–	суміш синтетичних жирних кислот;
КМКО	–	комплекс методів кваліфікаційної оцінки;
ДАДТФЦ	–	діалкілдітіофосфати цинку;
ВО	–	відпрацьована олива;
ВМО	–	відпрацьована моторна олива;
ВІО	–	відпрацьована індустріальна олива;
СВН	–	суміш відпрацьованих нафтопродуктів;

*«Навчайтесь так, немов ви постійно
Відчуваєте брак своїх знань, і так немов ви
постійно боїтеся роззубити свої знання»*

Конфуцій

ВСТУП

Частка мастильних матеріалів (ММ) у продукції перероблення нафти становить лише 1,2 %, однак вони характеризуються широким асортиментом і колом споживачів. Об'єм світового ринку ММ оцінюється приблизно в 42 млн т. (з них оливо – біля 38 млн т, мастил – понад 1,4 млн т, мастильно-охолоджуючих технологічних засобів (МОТЗ) – до 2,6 млн тонн), України – лише близько 20 тис. т. (рис. В.1). Потреби економіки нашої держави на сьогодні покриваються до 80 % імпортом ММ.

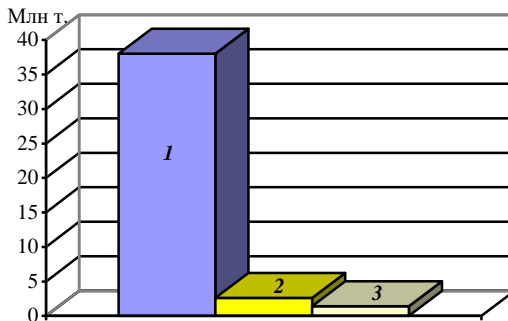


Рис. В. 1. Світовий баланс виробництва мастильних матеріалів:

1 – оливи (біля 38 млн тонн/рік); 2 – мастила (понад 1,4 млн тонн/рік);
3 – МОТЗ (біля 2,6 млн тонн/рік)

На сьогодні, коли зниження витрат енергії, ресурсів, а також викидів займає основне місце серед еколого-економічних проблем, ММ привертають дедалі більшу увагу суспільства. Головною функцією ММ є зниження тертя та зношування. Аналіз результатів наукових досліджень свідчать про стійкі закономірності у даній сфері, що полягають у тому, що в індустріально розвинених країнах через застосування актуальних знань та умінь в області хімотології, тертя, зношування та змащування, під час змащування тертьових елементів можна було б знизити енерговитрати на суму, еквівалентну 0,4 % внутрішнього валового продукту (ВВП) цих країн. На сьогодні в світі налічується близько 1400 підприємств, що виробляють ММ в обсягах від незначних до великих. З одного боку, є вертикально інтегровані нафтові компанії, основні напрями діяльності яких полягають в розвідці, видобутку й переробленні нафти, а ММ становлять лише невелику частину їх бізнесу. 1200 незалежних компаній-виробників ММ концентрують свої зусилля на виробництві та збуті ММ, що є основним видом їх діяльності. Якщо великі, інтегровані компанії фокусуються на великотоннажному виробництві моторних, трансмісійних і гідравлічних олив, то багато незалежних компаній зосереджені на спеціальних продуктах і виробництві спеціальних ММ на замовлення з наданням сервісних послуг замовникам.

Ефективність ММ визначається, по-перше, конструктивними особливостями вузла тертя (типом, розміром, характером руху поверхонь тертя тощо), по-друге, – системою змащування та видом матеріалу контактних поверхонь, з яким він контактує під час роботи, а також умовами експлуатації вузла тертя й термінами заміни ММ.

Поряд з двигунами внутрішнього згорання (ДВЗ), автомобільними коробками передач і індустріальними механізмами, компресорами, турбінами й гідравлічними системами, існує безліч інших областей застосування, що потребують спеціально розроблених ММ. Наприклад, технологічні операції з оброблення металів тощо.

Масильні матеріали – продукти переробки нафти або різні синтетичні речовини. Їх використовують між поверхнями що труться для зменшення сили тертя та зменшення зносу.

За походженням ММ бувають органічними, неорганічними та елементоорганічними (складаються з органічних і неорганічних речовин), а за агрегатним станом – рідкими, консистентними, твердими та газоподібними (рис. В. 2). Основні терміни та поняття систематизовано у додатку 1.

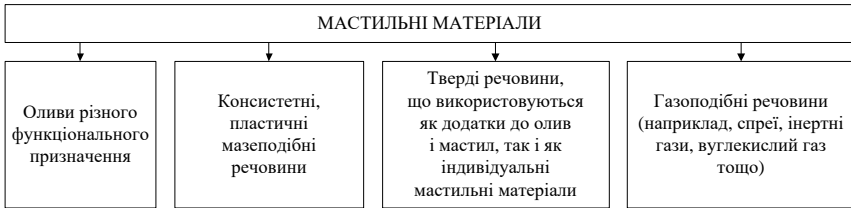


Рис. В. 2. Узагальнена класифікація мастильних матеріалів

При згадці ММ зазвичай мають на увазі **оливи** на мінеральній основі. Мінеральні компоненти продовжують залишатися кількісно найважливішою основою ММ. Нафтохімічні компоненти і, у все зростаючій мірі, похідні продуктів перероблення нафтової промисловості знаходять все більш широке застосування завдяки їх екологічній сумісності та деяким технічним перевагам. Оливи, частка яких складає більше 90 % від загального споживання ММ, в середньому на 93 % складаються з базових олив і на 7 % з хімічних добавок і інших компонентів (частка яких може становити від 0,5 до 40 %).

Як конструкційний матеріал вузла тертя оливи виконують такі **функції**:

- зменшують тертя, що виникає між деталями триботехнічного вузла;
- знижують знос і попереджують задири поверхонь тертя;
- відводять тепло від пар тертя;
- захищають поверхні контактуючих пар і інші неізольовані частини від корозійної дії зовнішнього середовища;
- ущільнюють зазори між пов'язаними деталями;
- видаляють із зони тертя продукти зносу, корозії та інші забруднення.

За призначенням оливи класифікуються за такими групами:

- моторні оливи (оливи для карбюраторних, дизельних і авіаційних двигунів);
- трансмісійні оливи (автотракторні, редукторні, оливи для гідравлічних муфт, гідротрансформаторів і автоматичних трансмісій);
- енергетичні оливи (турбінні, компресорні та електроізоляційні);
- індустріальні оливи;
- консерваційні оливи;
- оливи спеціального призначення.

Найбільшого поширення в загальному балансі використання олив набули моторні. Виробництво моторних олив за наукоємністю найчастіше порівнюють із продукцією сучасного машинобудування. **Моторні оливи** – головна технічна рідина в будь-якій машині й призначена для зменшення зносу і сили тертя між сполученими деталями двигуна, ущільнення та захисту їх від корозії, а також утримання в собі продуктів неповного згорання палива. З огляду на тенденцію підвищення екологічності та безпеки транспорту через технологічне удосконалення ДВЗ, посилюються вимоги й до моторної оливи. Моторна олива повинна забезпечувати чистоту, роботу агрегатів, надійність, паливну економічність і енергоефективність. Одним з найбільш затребуваних олив є гідравлічні рідини, що обґрунтовано їх універсальністю й функціональністю. Крім **гідравлічних олив**, ще одним затребуваним експлуатаційним матеріалом є **трансмісійні оливи**. Вони використовуються для змащення деталей та вузлів коробок передач з метою захисту їх від зносу під час експлуатації, а також мостів, роздавальних коробок, редукторів, ланцюгових і зубчастих передач різних видів. Оливи, що використовуються для змащення підшипників і допоміжних механізмів парових і водяних турбін, турбонасосів, турбокомпресорних машин (повітряних, газових і холодильних), а також як мастило та робоча рідина в різних промислових механізмах з циркуляційними системами отримали назву **турбінних**. В авіаційній техніці для змащування газотурбінних двигунів (ГТД) і агрегатів гелікоптерів використовуються турбінні оливи. Взагалі оливи для двигунів літальних

апаратів (ЛА) («**авіаційні оливи**») умовно поділяються за сферами використання: оливи для поршневих і газотурбінних двигунів, а також для деталей, вузлів і агрегатів гелікоптерів. Зростання загрози глобальної екологічної кризи, зокрема через невинне збільшення техногенного навантаження внаслідок функціонування транспортного сектору, виокремило окремий вид олив – **біологічні**. Авторами приділено окрему увагу біологічним оливам як перспективі розвитку мастильних експлуатаційних матеріалів для раціональної експлуатації техніки.

За першим законом **хімотології** експлуатаційні властивості паливно-мастильних матеріалів (ПММ) обумовлюються хімічним складом складових речовин, структурою й енергетичним станом їх молекул. А третій закон вказує, що надійність, економічність і екологічність техніки визначається їх якістю.

Якість олив має великий вплив на надійність експлуатації машин і механізмів. Якість є мірою відповідності властивостей олив технічним характеристикам транспортного засобу та умовам його експлуатації.

Автори систематизовано підготували матеріал про оливи моторні, трансмісійні, гідравлічні та турбінні, що на сьогодні є традиційними експлуатаційними матеріалами авіаційної та наземної техніки.

Підручник буде корисним для фахівців транспортної сфери, а також нафтопродукто- та авіапаливозабезпечення, студентів, аспірантів і здобувачів наукового ступеня відповідного профілю.

Вступ, розділи 2–4, 6 і додатки підготовлені Бойченком С. В. (Національний авіаційний університет) спільно з П. Топільницьким і Й. Любініним, розд. 1, 2, 4–6 – Топільницьким П. І. (Національний університет «Львівська Політехніка», розд. 1, 6 – Пушаком А. П. (ТОВ «Паливно-альтернативні технології»), розд. 2, 4 – старшим науковим співробітником Любініним Й. А., розд. 1, 5 –професором Казимиром Лейдою (Технологічний університет (м. Жешув, Польща)).

Рукопис підготовлено за загальною редакцією професора С. В. Бойченка.

РОЗДІЛ 1

ВЛАСТИВОСТІ ТА ЯКІСТЬ МОТОРНИХ ОЛИВ

Серед ММ моторні оливи займають перше місце – 50–70 %.

Вимоги в галузі моторних олив за останні роки сконцентрувались у специфікаціях, що розробляються автомобільною промисловістю. Найбільш поширені, визнані у всьому світі вимоги, визначені специфікаціями API (American Petroleum Institute, США), SAE (Society of Automobile Engineers, США) та ACEA (Асоціація європейських виробників автомобілів), ILSAC (Міжнародний комітет зі стандартизації та схвалення ММ створений спільно Американською асоціацією виробників автомобілів (ААМА) і Японською асоціацією виробників автомобілів (JAMA)). Усі ці специфікації відображають послідовну адаптацію якості моторних олив до конструкції двигунів.

1.1. Загальна характеристика мастильних матеріалів

Згідно з міжнародним стандартом ISO 8681 (ДСТУ ISO 8681) (International organization for standardization) усі нафтопродукти класифікуються на п'ять основних класів за буквеними індексами (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

Класифікація нафтопродуктів згідно з ISO 8681

Клас	Продукт
F	Палива
L	Мастильні матеріали, індустріальні оливи та споріднені продукти
W	Парафіни
B	Бітуми
S	Розчинники та сировина для хімічної промисловості

Усі ММ прийнято підрозділяти на чотири основні групи:

1. Мастильні матеріали, що у звичайних умовах є рідинами (оливи).

2. Мастильні матеріали, що являють собою пластичні, мазеподібні речовини (**мастила**).

3. Тверді ММ, що застосовуються як компоненти до олив і мастил, так і як самостійний ММ.

4. Газоподібні ММ (див. рис. В. 2).

Загальна класифікація ММ встановлена у міжнародному стандарті ISO 6743.0, що передбачає 18 груп ММ за сферами застосування.

За призначенням оливи поділяють на групи та підгрупи (табл. 1.2) за ДСТУ 4106.

Таблиця 1.2

Класифікаційні типи олив

Група олив	Підгрупа олив
Моторні	Для бензинових двигунів, дизелів та універсальні Для суднових тітепловозних дизелів
Трансмійні	Для механічних передач
Гідравлічні	Для гідростатичних і гідродинамічних передач та робочі рідини для гідравлічних систем
Турбінні	Газотурбінні Турбінні загального призначення Для роботи за високих температур та навантаження
Компресорні	Для поршневих та ротаційних компресорів
Індустріальні	Загального призначення Спеціального призначення Приладові
Оливи різного призначення	Циліндрові Холодильні Ізоляційні

Класифікація та склад синтетичних і рослинних олив.

На сьогодні синтезовано велику кількість сполук, що можуть використовуватися як синтетичні оливи (додаток 2).

Найбільшого практичного використання знайшли такі групи синтетичних олив:

1. Вуглеводневі: поліальфаолефінові, поліалкілбензоли, ізопарафіни, полібутени (октоли), оливи, отримані з природного й попутного газу.

2. Поліефірні: складні ефіри дікарбонових кислот, складні ефіри неопентиллових спиртів, ефіри фосфорної кислоти.

3. Поліорганосилоксани.
4. Полігліколі.
5. Синтетичні азотисті, сірчисті, фтор-, хлор- та кисневмісні продукти.
6. Продукти змішаного походження.

Класифікації рослинних олив, аналогічної систематизації ММ, поки що не існує. Найпоширенішими рослинними олівами є: лляна, соняшникова, соєва, ріпакова, касторова, бавовняна, мастинова, кокосова та пальмова.

Вуглеводневі оливи – найпоширеніша група синтетичних олив. Поліальфаолефінові оливи (ПАО) – це продукти полімеризації α -олефінів (C_8 – C_{10} , C_8 – C_{12} , C_8 – C_{14}), що отримують олігомеризацією етилену (пропілену та їх сумішей) або каталітичним крекінгом нафтових парафінів.

Алкілбензольні оливи є висококиплячими продуктами алкілування бензолу α -олефінами C_{10} – C_{14} (C_{10} – C_{12}) або каталітичного диспропорціонування з хлорпарафінами C_{10} – C_{14} .

Полібутени (октоли) – це продукти полімеризації промислових газів термічного, каталітичного крекінгу, піролізу та дегідрування ізобутану.

Оливи із природного або попутного газів є широкою фракцією алканів, що отримують конверсією з водяною парою нижчих вуглеводнів з наступним синтезом за реакцією Фішера-Тропша.

Поліефірні синтетичні оливи. Розповсюдженими базовими олівами є складні ефіри дікарбонових кислот – продукти реакцій кислот (адипінової, азелаїнової, себацінової або фталевої) зі спиртами (2-етилгексилним, ізооктиловим або ізодецилним). Найбільш використовуваний представник цієї групи олив – діоктилсебацінат.

Як основу або компонент товарних олив використовують складні ефіри неопентилінових спиртів (пентаеритриту, триметилетану або триметилпропану, неопентилгліколю). Під час синтезу ефірів використовують також синтетичні жирні кислоти фракції C_5 – C_9 .

Ефіри фосфорної кислоти є продуктами етерифікації хлороксиду фосфору аліфатичними спиртами або фенолами.

Зокрема, трикрезилфосфат $(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})_3\text{P}$ одержують взаємодією хлорокису фосфору із крезолами.

Поліорганосилоксани – прямоланцюгові полімери алкіл- і арилсилоксанового ряду, серед яких найбільшого поширення одержали поліметил-, поліетил- і поліфенілсилоксани.

Полігліколеві оливи являють собою поліетилен- і поліпріопіленгліколи, їх сополімери, моно- та діефіри, що отримують реакціями взаємодії гідроксил- вмісних сполук (спиртів, діолів, поліолів) з алкіленоксидами (епоксидами).

Синтетичні азотисті, сірчисті, фтор-, хлор- та кисневмісні продукти – це елементоорганічні сполуки, серед яких для виробництва ММ використовують: перфторполіалкілефіри, фторвмісні ефіри карбонових кислот, галогенпохідні вуглеводні: аліфатичні фтор- і фторхлорвуглеводні, хлорвуглеводні оливи.

Ароматичні аміни (похідні карбаміду, азот-, бор- і фосфорвмісні гетероциклічні сполуки, сірчисті ефіри карбонових кислот, поліефірні сполуки, тетрагідрофуранові полімери, силоксанові ефіри та тетраалкілсилоксани, поліфенілові ефіри, похідні ферроцену тощо) є основою для виробництва олив спеціального призначення.

Синтетичні оливи застосовують не тільки як базові для приготування товарних ММ, але й у суміші з нафтовими (напівсинтетичні або вірніше – частково синтетичні) або один з одним. Особливо ефективним вважається компаундування синтетичних олив, що істотно відрізняються за природою, наприклад, вуглеводневого та діефірного. Широко відома моторна олива Mobil 1 складається із суміші поліальфаолефінів (70 %), складних ефірів (20 %) і пакету присадок (10 %). Оптимальна композиція компонентів у суміші, у тому числі обґрунтований підбір присадок, дозволяє одержувати оливи, що відповідають основним вимогам сучасної техніки.

Рослинні (біологічні) оливи за хімічним складом принципово відрізняються від нафтових олив та являють собою повні складні ефіри гліцерину та вищих одноосновних насичених і ненасичених карбонових кислот (тригліцериди). Ці кислоти у складі рослинних олив представлені такими сполуками:

– насиченими кислотами – стеариною $\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COOH}$

і пальмітиноюю $C_{15}H_{33}COOH$;

– ненасиченими кислотами – олеїноюю $C_{17}H_{33}COOH$ та лінолевою $C_{17}H_{31}COOH$;

– поліненасиченими кислотами (з 2–4 ненасиченими зв'язками, у менших кількостях);

– фосфатидами, милами, вітамінами, барвниками (у зовсім малих концентраціях).

Оливи прийнято класифікувати за двома основними ознаками:

а) за походженням (або способом одержання) оливи. За цією ознакою оливи поділяються на мінеральні (нафтового походження), синтетичні і змішані (компаундовані);

За походженням (природою сировини) розрізняють такі види олив: нафтові, синтетичні й рослинні.

б) за призначенням (областю застосування) оливи систематизуються на моторні (для поршневих двигунів внутрішнього згорання), газотурбінні, трансмісійні, енергетичні, індустриальні та оливи іншого призначення (компресорні, циліндричні, холодильні та турбінні, для гідромеханічних передач, осьові, електроізоляційні, телеграфні, трансформаторні, для годинників та інші).

Найбільш важливими експлуатаційними властивостями олив є: змащувальні, в'язкісно-депресорні, мийно-диспергувальні, антикорозійні, термоокиснювальна стабільність.

Комплекс фізико-хімічних властивостей олив (в'язкісні, протизношувальні, антифрикційні, протизадирні), що обумовлюють ефективність роботи системи тертя (трибосистеми), називається **змащувальними властивостями**.

Механізм тертя полягає у незворотному переході (розсіюванні (**дисипації**)) механічної енергії у внутрішню та електромагнітну енергію атомів поверхневих об'ємів тіл з наступним переходом внутрішньої енергії в теплоту.

Зношування являє собою процес руйнування матеріалу з поверхні твердого тіла та накопичення його залишкової деформації, що виявляється у поступовій зміні розмірів або форми тіла.

Знос – результат зношування, обумовлений у встановлених одиницях довжини, маси або об'єму.

1.2. Технологія одержання олив

Нафтові дистилятні оливи одержують вакуумною перегонкою мазуту. Нафтові залишкові оливи – деасфальтизацією гудрону (залишок після вакуумної перегонки мазуту). Нафтові компаундовані – змішуванням базових дистилятних і залишкових олив. Синтетичні оливи одержують синтезом з хімічної та нафтогазохімічної сировини. Рослинні оливи одержують на базі сировини рослинного походження. Змішані оливи містять компоненти нафтового, синтетичного й рослинного походження.

В основу виробництва компонентів олив з вихідних масляних фракцій покладені методи видалення таких небажаних компонентів, як сполуки кислого характеру, ненасичені вуглеводні, сірчисті та смолоподібні сполуки, поліциклічні ацени з короткими боковими ланцюгами, тверді парафіни. З цією метою застосовують лужне, селективне або кислотне очищення, а також процеси депарафінації і деасфальтизації.

Моторні оливи складаються з основного, базового матеріалу – базових олив (75–95 %) і активних домішок – присадок і додатків (5–25 %), що поліпшують їх експлуатаційні властивості (додаток 3). Якість товарної оливи залежить від нафти, способу одержання базової оливи, глибини хімічного перетворення та очищення (додаток 4).

Хімічний склад масляної сировини є основним чинником, що визначає вибір найбільш раціональних методів виробництва та використання олив.

У виробництві олив використовують дистилятні фракції нафти (межі википання 320–500 °С) і залишок вакуумної перегонки мазуту – гудрон (вище 500 °С). Базові оливи повинні мати в'язкість, що відповідає технічним вимогам щодо конкретного виду мастила. Як правило, регулювання в'язкості базових олив здійснюється компаундуванням дистилятних і залишкових компонентів. Більшість базових олив є сумішами дистилятних і залишкових компонентів, окрім деяких сортів малов'язких моторних, турбінних та індустріальних олив. Моторні оливи часто містять синтетичний компонент певної в'язкості.

Оливні фракції є складною сумішшю сполук, що відрізняються за структурою та складом молекул, за фізичними, хімічними, фізико-хімічними та експлуатаційними властивостями. Вони містять вуглеводні в основному гібридної будови усіх гомологічних рядів і неуглеводневі сполуки – сірчисті, азотисті, кисневі, металовмісні у складі смолисто-асфальтенових речовин. Тому, як правило, в оливах оцінюється лише груповий хімічний склад.

Дослідження групового хімічного складу оливних фракцій почалися наприкінці 19-го століття й узагальнені у працях таких вчених, як В. В. Марковніков, С. С. Намьоткін, К. В. Харичков, М. І. Коновалов, Л. Г. Гурвич, М. І. Черножуков, С. Р. Сергієнко та багато інших. Дослідження групового хімічного складу оливних фракцій виконуються з використанням фізичних, хімічних і фізико-хімічних методів поділу оливних фракцій та ідентифікації хімічної будови молекул. Поділ оливної сировини на вузькі фракції здійснюється вакуумною перегонкою, холодним фракціонуванням, хроматографією, комплексоутворенням, термічною дифузією та іншими методами.

Виявлено, що вуглеводнева частина оливних фракцій містить високомолекулярні алкани нормальної та ізобудови, поліциклічні циклоалкани з алкільними радикалами, моно- і поліциклічні арени з алкільними радикалами та значну кількість вуглеводнів змішаної будови. Неуглеводнева частина оливних фракцій містить сірчисті, азотисті, кисневі, металовмісні та полігетероатомні сполуки.

До складу оливних фракцій входять:

- алкани – 5–20 % мас., у тому числі ізобудови – до 0,5–1,5 % мас., нормальної будови – до 4 % мас.;
- циклоалкани – 50–80 % мас.;
- арени – 15–50 % мас.;
- тверді вуглеводні – 50–70 % мас..

Виробництво товарних олив складається з двох стадій – виробництво базових олив і змішування компонентів (компаундування). Виробництво великої кількості різновидів олив технічно та економічно недоцільно. Для уникнення цього нафтопереробною промисловістю продукується обмежена кількість базових олив, що можуть змішуватися між собою та з додатками на оливозмішувальних заводах для одержання товарних олив з необхідними

експлуатаційними властивостями.

Базові оливи розрізняються між собою в'язкістю, хімічним складом і деякими іншими властивостями.

Компаундування олив є відносно нескладним технологічним процесом, що може здійснюватися на порівняно невеликих оливозміщувальних заводах.

Блок-схема загального технологічного процесу виробництва базових мінеральних олив проілюстрована на рис.1.1 і складається з низки технологічних процесів:

- атмосферна перегонка, за якої відділяються низькокиплячі фракції (світлі нафтопродукти) та атмосферний залишок або мазут, що є сировиною для вакуумної перегонки для виробництва олив;

- вакуумна перегонка атмосферного залишку (мазуту) здійснюється за значно нижчих температур у вакуумі, що дозволяє переганяти в'язкі продукти. Одержують фракції олив – вакуумні дистилати з різною в'язкістю та вакуумний залишок, з яких виробляють високов'язкі базові оливи;

- очищення фракцій вакуумної перегонки методом екстракції, за допомогою якої розчинниками відокремлюються непотрібні сполуки;

- депарафінізація фракцій, за якої відокремлюються парафіни;

- інші технологічні процеси для поліпшення якості базових олив: гідрування, каталітичний гідрокрекінг, очищення відбілюючою глиною, кристалічним алюмосилікатом або цеолітом тощо.

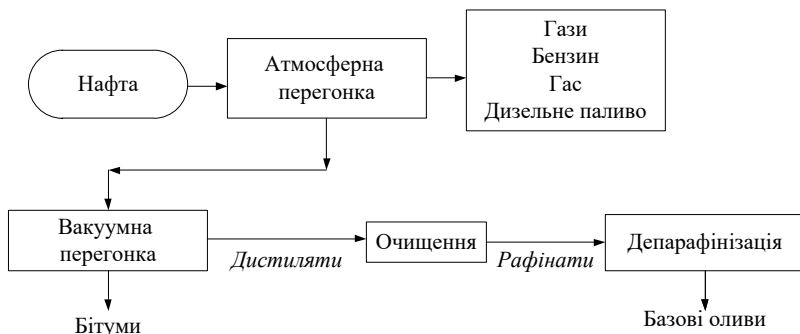


Рис. 1.1. Узагальнена технологічна блок-схема виробництва базових олив

Деталізована схема технологічного процесу отримання товарних олів зображена на рис. 1.2.

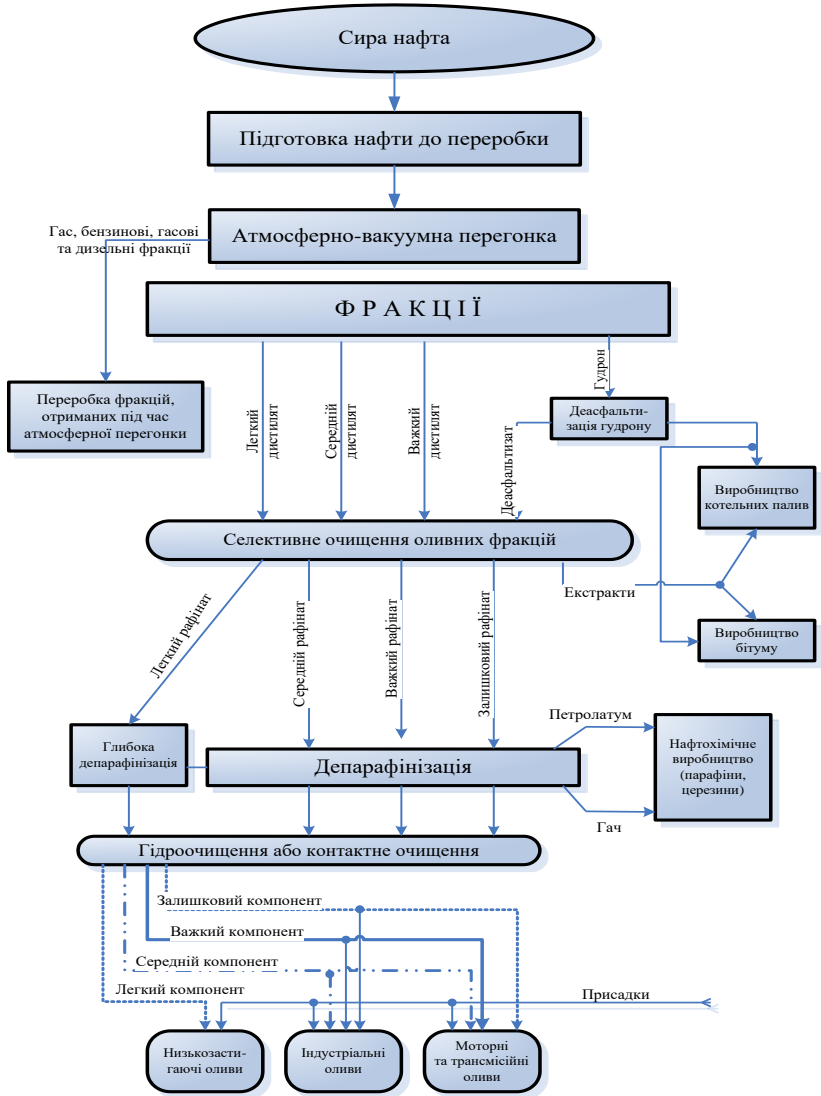


Рис. 1.2. Загальна технологічна схема виробництва олів

Класична технологія отримання мінеральних олив полягає в поступовому очищенні попередньо виділених з нафти оливних фракцій (див. рис. 1.2). За такою технологією виробляється до 85 % всіх мінеральних олив. Порівняно невеликий вибір мінеральних олив, вироблених з нафти без будь-яких добавок, сьогодні називається базовими оливами. Основні фракції вакуумної перегонки атмосферного залишку (мазуту):

- легка вакуумна олива (температура кипіння 300–350 °С);
- середня вакуумна олива (температура кипіння 350–420 °С);
- важка олива (температура кипіння 420–500 °С).

За фракційним складом базові оливи поділяються на дистилятні, компаундовані та залишкові. Дистилятними оливами є окремі фракції або їх суміші. Компаундовані оливи одержують змішуванням дистилятів та залишкових олив.

Залишкові оливи мають хороші експлуатаційні змащувальні властивості. Їх стійкість до окиснення краща, ніж у дистилятних олив. З легких дистилятів одержують легкі індустриальні та трансформаторні оливи, з середніх та важких дистилятів – індустриальні та моторні, з компаундованих і залишкових – моторні, трансмісійні, важкі індустриальні, циліндрові та інші оливи.

Сутність сучасного виробництва олив полягає в доборі необхідних додатків і їх ретельному змішуванні з базовою оливою. Причому додатки можуть бути одиничними, що підсилюють певну властивість, або входять в базову оливу великою гамою – пакетом додатків. Таким чином товарна олива набуває необхідних експлуатаційних властивостей.

1.3. Загальна класифікація базових олив

На початку 1990-х років як доповнення до існуючих класифікацій товарних моторних олив за в'язкістю та експлуатаційними властивостями була прийнята класифікація **базових олив** (API Base Oil Classification), що систематизувала усі базові оливи на п'ять груп залежно від походження (способу виробництва) і способу очищення: мінеральні, напівсинтетичні, гідрокрекінгові, ПАО-синтетичні та «ненафтові» синтетичні (табл. 1.3):

Таблиця 1.3

Категорії базових олив (API 1509, додаток E (2016))

Група	Вміст сірки, % ваг.	Вміст насичених вуглеводнів	Індекс в'язкості (ІВ)
I	> 0,03	< 90	80–119
II	≤ 0,03	≥ 90	80–119
III	≤ 0,03	≥ 90	≥ 120
IV	ПАО		
V	Усі інші синтетичні оливи, не уведені до груп I–IV		

Приблизно половина базових олив виробляється за технологічною схемою зображеною на рис. 1.2. Базові оливи селективного очищення зазвичай називаються базовими оливами **групи I** та характеризуються як такі, що містять менше 90 % насичених вуглеводнів (> 10 % ароматичних вуглеводнів) і більше 0,03 % сірки. У табл. 1.3 показано основні групи базових олив за класифікацією API. Узагальнена інтегрована схема життєвого циклу базових і товарних олив наочно проілюстрована на рис. 1.3.

Базові оливи **групи II** відрізняються від базових олив групи I, оскільки вони містять значно менше домішок (менше 10 % ароматичних вуглеводнів, менше 0,03 % сірки). Вони також мають інший зовнішній вигляд. Оливи групи II, виготовлені з використанням новітньої технології гідроочищення, настільки чисті, що вони на вигляд майже не мають кольору.

Дані табл. 1.3 свідчать, що API визначає відмінність між базовими оливами груп II та III тільки в перерахунку на індекс в'язкості (ІВ). Базові оливи зі стандартним індексом в'язкості (від 80 до 119) відносяться до групи II, а базові оливи з нестандартним ІВ (120 +) відносяться до **групи III**. Оливи групи III називаються базовими оливами з дуже високим ІВ.

Технологічно сучасні базові оливи групи III виготовляються з використанням тієї ж технологічної схеми, що й сучасні базові оливи групи II. Більш високий ІВ досягається підвищенням інтенсивності експлуатації установки для гідрокрекінгу або переходу на подачу сировини з більш високим ІВ.

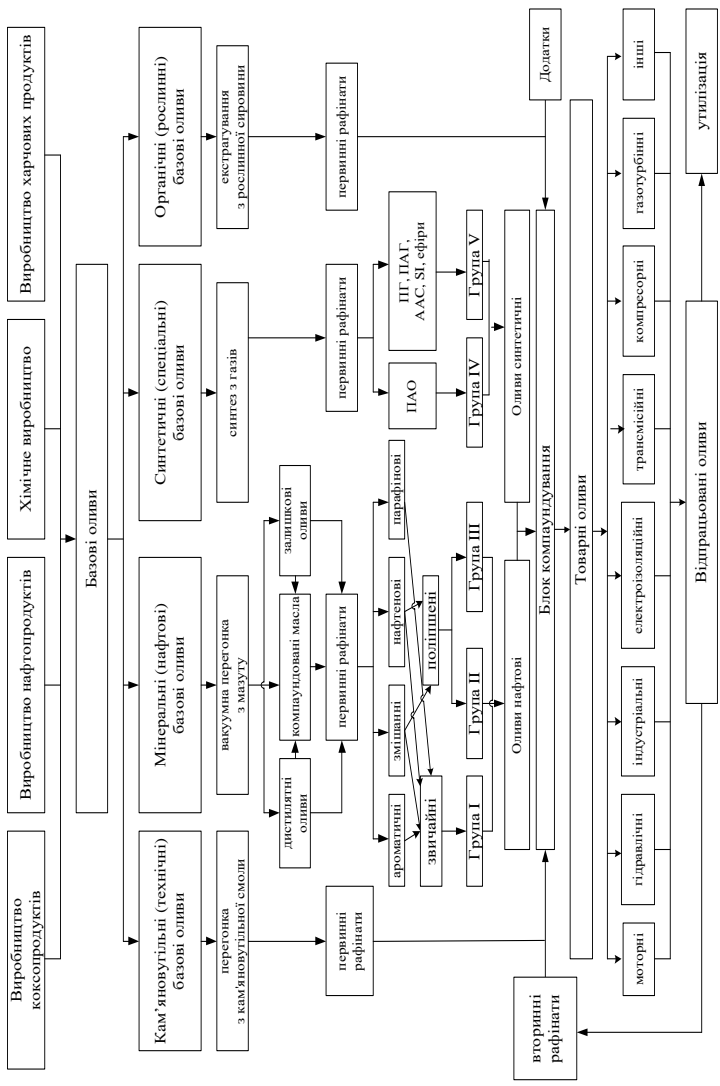


Рис. 1.3. Узагальнена інтегрована блок-схема технологічних етапів виробництва базових і товарних олій

Сучасні базові оливи групи III мають властивості, що дозволяють експлуатувати їх за найскладніших умов, у багатьох випадках вони мають експлуатаційні характеристики, відповідні або вищі за показники традиційних синтетичних олив.

Відомо, що оливи на основі ПАО порівняно зі стандартними нафтовими оливами мають кращі експлуатаційні характеристики (такі як ІВ, температура перепаду плинності, випаровуваність та стійкість до окиснення). ПАО – коротколанцюгові поліальфаолефіни, що отримують хімічним синтезом. Під час виробництва сучасних базових олив є можливість незалежно варіювати ІВ, межею температури плинності, випаровуваністю та стійкістю до окиснення.

Сучасні оливи групи III можуть перевищувати експлуатаційні характеристики ПАО за деякими суттєвими для ММ параметрами, такими як додаткова розчинність, змащувальна здатність та зносостійкість. Базові оливи групи III в наш час можуть конкурувати з сировиною з ПАО і за експлуатаційними характеристиками. До параметрів експлуатації готових змащувальних продуктів, за якими оливи групи III повинні конкурувати з оливами **групи IV**, відносяться:

- температура втрати плинності;
- випаровуваність за NOACK;
- стійкість до окиснення.

Базові оливи групи V – інші базові оливи, що отримують хімічним синтезом. Найчастіше використовують поліефірні оливи (ПЕО).

На сьогодні на практиці формується новітня група базових олив – синтетичні рідини (полігліколеві (ПГО), поліалкіленгліколеві (ПАГО), алкільовані ароматичні сполуки (ААС), силіконові (SIO) – полімери або олігомери, одержані методом хімічного синтезу з різних мономерів.

Оливи, що створені на основі груп I і II (з незначним додаванням інших базових олив) називають мінеральними оливами. Оливи, що створені на базових оливах з груп I та II, а також базових олив вищих груп у визначених обсягах є напівсинтетичними. Віднесення оливи до напівсинтетичних здійснюється на підставі оцінки відсоткового вмісту базових олив

груп III, IV та V у базовому складі, мінімальне значення якого різниться у різних країнах. Зазвичай це 25 % або 30 %. Це значить, що можлива ситуація, що олива з вмістом у своїй базі 74 % групи II і 26 % групи III в одній країні буде вважатись напівсинтетичною, в іншій – мінеральною.

Синтетичні оливи – це продукти, що створені на базі олив групи III, IV та V. Загальна класифікація синтетичних олив встановлена DIN 51502 (табл. 1.4).

Таблиця 1.4

Класифікація синтетичних олив за DIN 51502

Найменування оливи	Позначення за DIN 51502
Органічні складні ефіри	E
Фторвмісні рідини	FK
Синтетичні вуглеводні	HC
Ефіри фосфорної кислоти	PH
Оливи на основі полігліколів	PG
Силіконові оливи	SI
Інші	X

Жодна синтетична олива не має в сукупності властивостей, характерних для нафтової оливи, але окремі синтетичні оливи мають деякі експлуатаційні властивості, що перевищують властивості нафтових (мінеральних) олив. Наприклад, деякі синтетичні оливи мають особливо високий ІВ, знижену температуру застигання, підвищену стійкість до високих температур і деформацій зсуву, відрізняються зниженою леткістю та горючістю. Ці властивості забезпечують універсальність застосування та довготривалість строку служби. Кожна синтетична олива повинна застосовуватися в умовах, що дозволяють найкраще використати її особливості.

Основний суттєвий недолік синтетичних олив – вони значно дорожчі за нафтові.

1.4. Класифікація моторних олив

Моторна олива за ДСТУ 3437 – олива для поршневих ДВЗ та інших двигунів.

Однією з важливих властивостей моторних олиव є їх в'язкість та залежність від температури в широкому діапазоні (від температури навколишнього середовища під час холодного пуску взимку до температури максимального навантаження влітку). В'язкість частіше визначають як міру опору витіканню рідини або стійкість рідини до плинності. В'язкість відіграє вирішальну роль для забезпечення нормальної експлуатації обладнання. Надмірна в'язкість може призвести до:

- підвищеної стійкості до плинності, що перешкоджає потраплянню оливи в підшипник або трансмісію;
- підвищеної температури, що розріджує оливу й призводить до контакту металевих поверхонь;

- загального зростання витрати енергії.

Дуже низький ступінь в'язкості оливи може призвести до:

- збільшення витікання рідини;
- підвищеного зношування через безпосередній контакт металевих поверхонь;

- втрати тиску в системі;

- втрати точності в системі контролю гідравліки.

Під час вибору оливи велике значення мають як власна в'язкість, так і ІВ. **Індекс в'язкості** – це емпіричне число, що відображає зміну в'язкості залежно від зміни температури.

Класифікація моторних олив за в'язкістю (SAE J 300).

Найбільш повний опис відповідності в'язкісно-температурних властивостей олив вимогам двигунів міститься в загальноприйнятій на міжнародному рівні класифікації SAE J300. В'язкість оливи за цією системою виражається в умовних одиницях – ступенях в'язкості SAE (SAE Viscosity Grade – SAE VG). Числові значення ступенів є умовними символами комплексу в'язкісних властивостей (табл. 1.5).

У цій таблиці моторні оливи поділені на шість зимових з літерою «W» (OW, 5W, 10W, 15W, 20W і 25W) та п'ять літніх класів в'язкості без літерного позначення (20, 30, 40, 50 і 60).

Сезонні (малов'язкі) оливи (**single viscosity grade oils**) зимового ряду розрізняють за максимальними в'язкостями низькотемпературного прокручування та прокачування.

Таблиця 1.5

Класифікація моторних олиव за в'язкістю (SAE J 300)

Клас в'язкості за SAE J 300	Низькотемпературна в'язкість		Високотемпературна в'язкість		
	Прокручування, МПа·с за температури, °С, ¹	Прокачуваність, МПа·с, макс., за температури, °С, ²	Кінематична в'язкість, мм ² /с, за температури 100 °С, ³		В'язкість за високої швидкості зсуву, МПа·с, за температури 150 °С і 106 с ⁻¹ , мінімальна, ⁴
			мінімальна	максимальна	
0W	6200 за мінус 35	60000 за мінус 40	3,8	—	—
5W	6600 за мінус 30	60000 за мінус 35	3,8	—	—
10W	7000 за мінус 25	60000 за мінус 30	4,1	—	—
15W	7000 за мінус 20	60000 за мінус 25	5,6	—	—
20W	9500 за мінус 15	60000 за мінус 20	5,6	—	—
25W	13000 за мінус 10	60000 за мінус 15	9,3	—	—
20			5,6	< 9,3	
30			9,3	< 12,5	
40			12,5	< 16,3	2,9 для класів 0W-40, 5W-40, 10W-40
40			12,5	< 16,3	3,7 для класів 5W-40, 20W-40, 25W-40
50			16,3	< 21,9	3,7
60			21,9	< 26,1	3,7

¹Вимірювання виконують за ASTM D 5293.²Вимірювання виконують за ASTM D 4684, присутність будь-якої напруги зсуву, що визначена за цим методом, означає що олива не пройшла тестування за SAE J 300 незалежно від величини в'язкості.³Вимірювання виконують за ASTM D 445 (ДСТУ ГОСТ 33).⁴Вимірювання виконують за ASTM D 4683.

Ступінь в'язкості сезонних олив літнього ряду визначається за мінімальною та максимальною кінематичними в'язкостями за температури 100 °С і за мінімальною в'язкістю за температури 150 °С і швидкості зсуву 106 с⁻¹.

Всесезонні (multiviscosity-grade oils) оливи, складаються з комбінації зимового та літнього ряду, розділені знаком «дефіс» (наприклад, SAE 10W-40). Всесезонні оливи позначають подвійним номером, перший з яких вказує на мінімальне значення динамічної (ймовірної) в'язкості оливи за мінусових температур і гарантує пускові властивості, а другий – визначає характерний для відповідного класу в'язкості літньої оливи діапазон кінематичної в'язкості за температури 100 °С та динамічної в'язкості за температури 150 °С. У такий спосіб ступінь в'язкості за SAE допомагає визначити діапазон температури навколишнього середовища, за якого олива забезпечить нормальну роботу двигуна – його прокручування стартером, прокачування оливи насосом оливною системою в процесі холодного запуску і надійне змащування влітку під час тривалої роботи в режимі максимальних швидкостей та навантажень.

Для двигунів різної конструкції температурні діапазони працездатності оливи суттєво відрізняються. Вони залежать від потужності стартера, мінімальної пускової швидкості обертання колінчастого валу, від продуктивності оливного насоса, гідравлічного опору оливо-приймального тракту та багатьох інших конструктивних, технологічних та експлуатаційних чинників (технічного стану автомобіля, якості бензину або дизпалива, кваліфікації водія тощо.).

Класифікація олив за призначенням і рівнем якості.
Якість оливи – це комплекс властивостей, необхідний для використання оливи за призначенням. Одні властивості, зокрема в'язкісні, є основними для усіх олив, незалежно від їх призначення, а інші необхідні тільки в певних умовах застосування і в кожному конкретному випадку характеризуються певними показниками якості.

Для полегшення вибору оливи необхідної якості для конкретного типу двигуна й умов експлуатації, були створені системи класифікації. У кожній системі моторні оливи поділяються

на ряди та категорії, що ґрунтується на рівні якості й призначенні. Ці ряди й категорії створені за ініціативою міжнародних організацій нафтопереробних компаній і автовиробників з урахуванням конструктивних особливостей різних типів двигунів і умов їх експлуатації. Призначення та рівні якості є основою асортименту олів. Зважаючи на деякі відмінності в конструкціях і умовах експлуатації. На сьогодні одночасно існують декілька систем класифікації моторних олів – API/ILSAC, JASO, ACEA і ГОСТ (для країн СНД).

Найбільші виробники автомобілів висувають додаткові вимоги до якості моторних олів. Отже, нарівні зі загальноприйнятими системами класифікацій, існують і вимоги (специфікації, допуски) виробників автомобілів.

За призначенням оливи поділяють на групи та підгрупи (табл. 1.6) за ДСТУ 4106.

Таблиця 1.6

Класифікаційні типи олів

Група олів	Підгрупа олів
Моторні	Для бензинових і дизельних двигунів, універсальні Для судових тепловозних дизелів
Трансмісійні	Для механічних передач
Гідравлічні	Для гідростатичних і гідродинамічних передач, робочі рідини для гідравлічних систем
Турбінні	Газотурбінні Турбінні загального призначення Для роботи за високих температур і навантаження
Компресорні	Для поршневих і ротаційних компресорів
Індустріальні	Загального призначення Спеціального призначення Приладові
Оливи різного призначення	Циліндрові Холодильні Ізоляційні

Класифікація за API. API система класифікації моторних олів (API Engine Service Classification System) розвивалася з 1969 р. в результаті спільної роботи API, ASTM і SAE.

За системою API встановлено три експлуатаційні категорії (три ряди) призначення та якості моторних оливо. До категорії «S» (**Service**) відносяться оливи для 4-тактних бензинових двигунів, до категорії «C» (**Commercial**) – оливи, призначені для дизелів автомобільного транспорту, дорожньо-будівельної техніки та сільськогосподарських машин. До категорії **EC** відносять енергозберігаючі оливи (**Energy Conserving**). Це новий ряд високоякісних оливо, застосування яких дає змогу зменшити витрату палива на бензинових двигунах. Категорії: Для кожної нової генерації додають додаткову літеру за абеткою: API SA, API SB, API SC, API SD, API SE, API SF, API SG, API SH, API SJ (категорія SI – навмисно пропущена API для усунення плутанини з Міжнародною системою *mip*) – табл. 1.7. Аналогічно для категорії «C». Цифри при визначені класів CF-2, CF-4, CG-4 та CH-4 надають додаткову інформацію про застосування даного класу оливо в 2- або 4-тактних дизелях відповідно (табл. 1.7). Для позначення універсальних оливо, тобто таких, що можуть застосовуватися для змащування бензинових двигунів та дизелів, прийнято подвійне маркування: перший символ є основним, а другий вказує на можливість застосування цієї оливи для двигуна іншого типу, наприклад SF/CC, SG/CD, CF-4/SH, так API CG-4/SH – олива, оптимізована для використання у дизельних двигунах, але її можна застосовувати і в бензинових двигунах, для яких приписується олива категорії API SH і нижче (SG, SF, SE тощо) (табл. 1.7).

Таблиця 1.7

Класифікація моторних оливо за API SAE J 183

Бензинові двигуни	
API SA	Регулярні моторні оливи, що можуть містити депресорні присадки і/або інгібітори піноутворення.
API SB	Моторні оливи з низьким вмістом присадок для малопотужних бензинових двигунів. Містять присадки проти окиснення, корозії і зношування. Розроблені в 1930 р.
API SC	Моторні оливи для бензинових двигунів, що працюють у середньоважких умовах. Містять присадки проти коксування, чорного шламу, старіння, корозії та зношування. Відповідають вимогам специфікацій, виданих SAE США для автомобілів, випущені в період 1964–1967 рр.

API SD	Оливи для бензинових двигунів, що працюють у важчих умовах, ніж API-SC. Відповідають вимогам специфікацій, виданих SAE США для автомобілів, випущені в період 1968–1971 рр.
API SE	Оливи для бензинових двигунів, що працюють у дуже напружених умовах (у режимі «Stop-&-Go») у великих містах. Відповідають вимогам специфікацій, виданих SAE США для автомобілів, випущених у період 1971–1979 рр.
API SF	Оливи для бензинових двигунів легкових автомобілів, що працюють у дуже напружених умовах (у режимі міського руху «Stop-&-Go») і деяких вантажних автомобілів. Перевершують API-SE за окиснювальною стабільністю, протизношувальними характеристиками і диспергуванням шламу. Відповідають вимогам специфікацій, виданих SAE США для автомобілів, випущених у період 1980–1987 рр.
API SG	Моторні оливи для бензинових двигунів, що працюють в дуже жорстких умовах експлуатації. Мають спеціальні методи випробування на окиснювальну стабільність і шламоутворення. Відповідають вимогам специфікацій, виданих SAE США для автомобілів, випущених у період 1987–1993 рр.
API SH	Специфікації на моторні оливи для бензинових двигунів, випущених після 1993 р. Оливи API-SH повинні випробовуватися згідно з «Code of Practice CMA». API-SH в основному відповідають API-SG з додатковими вимогами відносно НТSH, втрат на випаровування (методи ASTM і Noak), фільтрованості, піноутворення і температури спалаху. Крім того, API-SH відповідають ILSAC GF-1 без випробування на паливозбереження.
API SJ	Для автомобільних двигунів випуску 2001 р. перекривають API-SH. Більш жорсткі вимоги до втрат на випаровування.
API SL	Для автомобільних двигунів випуску 2001 р. і старших. Розраховані на більш ефективне попередження високотемпературних відкладень і зниження витрати оливи. Можуть також задовольняти вимоги ILSAC GF-3 і кваліфікуватися як енергозберігаючі оливи

API SM	Для усіх автомобільних двигунів, що знаходяться в експлуатації в теперішній час. Розраховані на збільшення стійкості до окиснення, поліпшення захисту від відкладень, кращого захисту від зношування та поліпшення низькотемпературних характеристик. Можуть задовольняти вимоги ILSAC GF-4 і кваліфікуватися як енергозберігаючі оливи. Введені в дію з 2004 р.
API SN	Оливи з покращеним захистом поршнів від високотемпературних відкладень, жорсткішими вимогами до шламоутворення, поліпшеною сумісністю із ущільнюючими деталями двигуна. Мають обмеження за вмістом форсфору. Відповідають вимогам стандарту ILSAC GF-5: покращені паливна економічність, захист турбонагнітачів, систем зменшення токсичності вихлопу, підвищена стійкість під час використання в двигунах на бензині, що містить етанол (до E85). Ці оливи близькі за властивостями до олив за ACEA C із поправкою на високотемпературну в'язкість HTHS
Дизельні двигуни	
API SA	Моторні оливи для малопотужних бензинових двигунів і дизелів з нормальним всмоктуванням, що працюють на малосірчистих паливах. Для двигунів, випущених до 1959 р.
API SB	Моторні оливи для бензинових двигунів від малої до середньої потужності та дизелів з нормальним всмоктуванням і турбонаддувом, що працюють на малосірчистих паливах. Придатні для двигунів, починаючи з 1961 р. Забезпечують захист від високотемпературних відкладень та корозії підшипників.
API SC	Моторні оливи для бензинових двигунів і дизелів, що працюють в умовах від середньоважких до важких. Забезпечують захист від чорного шламу, корозії та високотемпературних відкладень. Для двигунів, випущених до 1990 р.
API SD	Моторні оливи для дизелів з нормальним всмоктуванням і турбонаддувом, що працюють у важких умовах. Для двигунів, випущених до 1994 р.

API CD II	Відповідають API-CD. Додатково відповідають вимогам для 2-тактних дизелів США. Посилений захист від зношування і відкладень.
API CE	Моторні оливи для швидкохідних дизелів з наддувом або без наддуву, що працюють у важких умовах зі змінними навантаженнями. Забезпечують більший захист від загущення оливи й зношування. Підвищують чистоту поршнів. Для двигунів, випущених до 1994 р.
API-CF	У 1994 р. замість API-CD для дизелів з високим турбонаддувом. Високозольні оливи. Можуть застосовуватися за вмісту сірки > 0,5 %.
API CF-2	Виключно для 2-тактних дизелів. Можуть застосовуватись замість API CD II з 1994 р.
API CF-4	Для високооберткових 4-тактних двигунів з 1990 р. Можуть застосовуватись замість олив класів CD та CE.
API CG-4	Для двигунів вантажних автомобілів після 1995 р., що працюють у важких умовах. Відповідають екологічним вимогам 1994 р. Вміст сірки в паливі не має перевищувати 0,5 %. Якість перевершує оливи класів CD, CE та CF-4.
API CH-4	Для високооберткових 4-тактних двигунів, що відповідають стандарту екологічності 1998 р. Вміст сірки в паливі не має перевищувати 0,5 %. Якість перевершує оливи класів CD, CE, CF-4 та CG-4.
API CI-4	Для високооберткових 4-тактних двигунів, що відповідають стандарту екологічності 2004 р. (представленому у 2002 р.). Для застосування в двигунах, оснащених системами рециркуляції EGR. Вміст сірки в паливі не має перевищувати 0,5 %. Якість перевершує оливи класів CD, CE, CF-4, CG-4 та CH-4. Деякі оливи класу CI-4 також відповідають класу CI-4 PLUS.
API CJ-4	Для високооберткових 4-тактних двигунів, що відповідають стандарту екологічності 2010 р. та позашляховому стандарту Tier 4. Для застосування в автомобілях, оснащених сучасними системами нейтралізації відпрацьованих газів (у тому числі системами рециркуляції EGR та сажовими фільтрами). Вміст сірки в паливі не має перевищувати 500 ppm (0,05 %). Застосування олив цього класу за використання палива з вмістом сірки більше 15 ppm (0,0015 %) не рекомендується.

API СК- 4	Для високооберткових 4-тактних двигунів (з 2016 р.), що відповідають позашляховому стандарту екологічності Tier 4 для позадорожньої техніки, а також для попередніх моделей дизельних двигунів. Вміст сірки в паливі не має перевищувати 500 ppm (0,05 %). Однак використання цих оливи із дизельним паливом, що містить до 0,0015 % (15 ppm) сірки, може вплинути на довговічність випускної системи або інтервал заміни оливи.
API FA- 4	Спеціально розроблені (класу в'язкості SAE XW-30) для використання у деяких моделях високооберткових 4-тактних двигунів (з 2017 р.), що працюють на паливі з вмістом сірки до 0,0015% (15 ppm). Оливи API FA-4 не є взаємозамінними, тому що не сумісні з олівами категорій API СК-4, CJ-4, CI-4 Plus, CI-4 і CH-4.

Класифікація за ACEA. Стандарт ACEA застосовується для класифікації моторних оливи в Європі. Зважаючи на наявність великої кількості фірмових допусків автовиробників, є досить загальним та в багатьох аспектах базовим для них. Використовується азійськими автовиробниками, що працюють на європейському ринку. Не використовується у Північній Америці. 1 лютого 2002 р. було опубліковано методи випробувань оливи ACEA 2002 (Sequence). Було переглянуто та введено вимоги щодо чистоти і шламоутворення для бензинових двигунів (A1, A2, A3, A-4) та додано нову категорію A5 з характеристиками двигуна A3, але з більш високими вимогами щодо збереження палива. Було відкореговано методи випробувань із чистоти, зношування, попередження шламоутворення для легкових дизельних автомобілів і додано нову категорію B5 з вищим ступенем чистоти і підвищеною економією палива. Надається особливе значення протизношувальним характеристикам щодо кілець, гільзи циліндру і підшипників для оливи категорії E5.

Оливи цих категорій сумісні зі всіма іншими категоріями. Категорії «А» і «В» тепер об'єднані. Введено нові категорії C1, C2, C3 і C4, що належать до моторних оливи для легкових автомобілів, оснащених системами доочищення вихлопних газів.

Такі оливи характеризуються особливо низьким вмістом

золоутворюючих компонентів і низькими рівнями сірки й фосфору для зменшення негативного впливу на системи фільтрування й каталізатори (табл. 1.8).

Європейський стандарт ACEA висуває більш жорсткі вимоги до характеристик оливо, аніж стандарт API. Згідно з класифікацією ACEA, моторні оливи поділяються на три класи.

Клас A/B: для бензинових і дизельних двигунів легкових автомобілів і легкої комерційної техніки;

Клас C: оливи зі зниженою зольністю (Low SAPS – Sulfated Ash, Phosphorus, Sulphur) для бензинових і дизельних двигунів легкових автомобілів і легкої комерційної техніки, оснащених додатковими системами нейтралізації відпрацьованих газів, зокрема, системами EGR, багатоступеневими каталізаторами, сажовими фільтрами;

Клас E: для важких вантажних автомобілів, будівельної техніки тощо.

У класифікаціях ACEA, на відміну від американської API, назва класу не змінюється при зміні вимог до властивостей оливи чи методики тестування. Зміни відбуваються в маркуванні класу за роками (наприклад, A3-04/B4-04).

Таблиця 1.8

Класифікація моторних оливо за ACEA

Клас	Сфера застосування
A1/B1	Двигуни з продовженим терміном використання оливи. Малов'язкі енергоощадні оливи.
A3/B3	Двигуни, що працюють у важких умовах або з подовженими міжсервісними інтервалами, в тому числі з турбонаддувом. Стандартна в'язкість HTHS >3,5 МПа·с.
A3/B4	Для двигунів, що працюють у важких умовах або з подовженими міжсервісними інтервалами, в тому числі оснащених турбонаддувом і безпосереднім впорскуванням палива, насос-форсунками або системою Common Rail. Стандартна в'язкість HTHS > 3,5 МПа ·с.
A5/B5	Для двигунів, що працюють в важких умовах або з подовженими міжсервісними інтервалами, в тому числі оснащених турбонаддувом, зокрема, з турбонаддувом. Малов'язкі енергоощадні оливи. Стандартна в'язкість HTHS 2,9–3,5 МПа ·с.

C1	Для двигунів з сучасними системами нейтралізації відпрацьованих газів (EGR, DPF, SCR тощо), що відповідають екологічному стандарту EURO 4. Малов'язкі енергоощадні оливи зі зниженою в'язкістю НТНС від 2,9 МПа·с. Низька зольність.
C2	Для двигунів з сучасними системами нейтралізації відпрацьованих газів (EGR, DPF, SCR тощо). Малов'язкі енергоощадні оливи зі зниженою в'язкістю НТНС від 2,9 МПа·с. Середня зольність.
C3	Для двигунів з сучасними системами нейтралізації відпрацьованих газів (EGR, DPF, SCR тощо), що працюють у важких умовах або з подовженими міжсервісними інтервалами, в тому числі оснащені турбонаддувом. Низька або середня зольність. Стандартна в'язкість НТНС >3,5 МПа·с.
C4	Для двигунів з сучасними системами нейтралізації відпрацьованих газів (EGR, DPF, SCR тощо), зокрема, оснащені турбонаддувом. Ізьказольність. Стандартна в'язкість НТНС > 3,5 МПа·с.
E1	Для дизельних двигунів без турбонаддуву, що працюють у легких умовах зі стандартними інтервалами заміни. Скасовано у 1998 р.
E2	Для малонавантажених дизельних двигунів без сажових фільтрів і систем рециркуляції зі стандартними міжсервісними інтервалами. Скасовано у 2007 р.
E3	Для дизельних двигунів без сажових фільтрів і систем рециркуляції, що працюють в тому числі у важких умовах чи з подовженими інтервалами заміни. Скасовано у 2002 р.
E4	Для високообертових дизельних двигунів екологічних класів EURO 1, EURO 2 та EURO 3 (без сажових фільтрів), що працюють у важких умовах чи з подовженими міжсервісними інтервалами. Висока <u>зольність</u> , добрі антиокиснювальні властивості.
E5	Для високообертових дизельних двигунів екологічних класів EURO 1, EURO 2 та EURO 3 (без сажових фільтрів), що працюють в важких умовах чи з подовженими міжсервісними інтервалами. Від олів класу E4 відрізняються тим, що відповідають жорсткішим вимогам, що їх висуває американський стандарт API.

E6	Для дизельних двигунів, що відповідають вимогам екологічних стандартів EURO 1–EURO 5, у тому числі таких, що оснащені системами рециркуляції EGR та сажовими фільтрами. Відповідає класу E4, однак із обмеженою зольністю.
E7	Для високообертових дизельних двигунів, що відповідають вимогам екологічних стандартів EURO 1–EURO 4, оснащених системами рециркуляції EGR та без сажових фільтрів та що працюють за подовжених міжсервісних інтервалів. Поліпшені антиокиснювальні та мийні властивості.
E9	Для дизельних двигунів екологічних класів EURO 1–EURO 5, зокрема, таких, що оснащені системами рециркуляції EGR і сажовими фільтрами. Відповідає класу E7, однак із обмеженою зольністю.

Класифікація за ILSAC. Стандарт ILSAC є діючим стандартом, запровадженим міжнародним комітетом з стандартизації та апробації моторних олів ILSAC. Комітет було створено американською та японською асоціаціями автовиробників ААМА та JAMA. Є розповсюдженим у американських, японських і корейських автовиробників.

Усі оливи класу ILSAC мають понижено високотемпературну в'язкість НТНС. На сьогодні оливи класу ILSAC розділені на 6 класів (табл. 1.9). Кожен наступний клас висуває нові жорсткіші вимоги до властивостей олів або розширює діапазон можливих в'язкостей (як правило, в бік рідших олів).

Таблиця 1.9

Класифікація моторних олів за ILSAC

Клас	Сфера застосування
GF1	Відповідає вимогам стандарту API SH та директиви Energy Conserving II (EC-II). Являє собою базові вимоги до олів для американських і японських автовиробників. Представлений у 1990 р., в 1992 р. було внесено правки.
GF2	Відповідає вимогам стандарту API SJ та директиви EC-II. Додаткові вимоги до зольності, низькотемпературних властивостей, високотемпературної стабільності та піноутворення. Допустимі класи в'язкості: 0W-30, 0W-40, 5W-20, 5W-30, 5W-40, 5W-50, 10W-30, 10W-40 і 10W-50. Якість перевершує GF-1. Представлений у 1996 р.

Закінчення табл. 1.9

GF3	Відповідає вимогам стандарту API SL та директиви ЕС-II. Додаткові вимоги до стійкості пакету присадок, схильності до утворення відкладень, впливу оливи на системи нейтралізації відпрацьованих газів, паливної економічності. Якість перевершує GF-1 та GF-2.
GF4	Стандарт GF-4 є ідентичним API SM, однак вимагає проходження додаткових випробувань на паливну економічність VIB Fuel Economy Test (ASTM D 6837). Якість перевершує GF-1, GF-2 та GF-3.
GF5	Забезпечує кращий захист поршнів від високотемпературних відкладень та кращий захист турбокомпресорів, має високу сумісність з ущільнюючими деталями двигуна, підвищену стійкість під час використання у двигунах, що працюють на паливі з вмістом етанолу (до E85). Жорсткіші вимоги до шламоутворення. Якість перевершує GF-1, GF-2, GF-3 та GF-4. Представлений у 2010 р.
GF6	Забезпечує кращі ніж у GF-5 захист двигуна, паливну економічність та стабільність. Значення НТНС від 2,6 МПа·с.

Номенклатура показників якості олів регламентується відповідними стандартами та іншими нормативними документами (табл. 1.10).

Таблиця 1.10

Номенклатура показників якості та властивостей олів

Найменування Показника	Одиниця вимірювання	Позначення показника
1. Показники змащувальної здатності олів. Трибологічні характеристики		
1.1. Діаметр сліду зношування	мм	D_z
1.2. Критичне навантаження	Н	P_k
1.3. Навантаження зварювання	Н	$P_{зв}$
1.4. Індекс задирання	Н	I_z
1.5. Навантаження задирання на установці FZG	за методом випробувань	$P_{зд}$

Продовження табл. 1.10

2. Фізико-хімічні показники		
2.1. Кінематична в'язкість	мм ² /с	vt
2.2. Індекс в'язкості	–	ІВ
2.3. Кислотне число	мг КОН/г	КЧ
2.4. Загальне лужне число	мг КОН/г	ЛЧ
2.5. Температура спалаху у відкритому тиглі	°С	T _{св}
2.6. Температура застигання	°С	T _з
2.7. Густина	кг/м ³	ρ
2.8. Колір	за методом випробувань	–
2.9. Масова частка активних елементів	%	–
3. Антикорозійна та захисна здатність оливи		
3.1. Захисна здатність оливи в умовах періодичної конденсації вологи	%	–
3.2. Захисна здатність оливи в середовищі електроліту	%	–
3.3. Захисна здатність оливи в середовищі бромистоводневої кислоти (HBr)	%	–
3.4. Захисна здатність оливи в дистильованій воді	%	–
3.5. Антикорозійна активність оливи в приладі «ДК-НАМИ»	г/м ²	–
3.6. Антикорозійна здатність оливи у двигуні «Petter W-1» або «ИКМ-1»	бал	–
3.7. Корозійність металів в оливі (сталь, мідь, алюміній та ін.)	за методом випробувань	–
4. Показники випаровуваності		
4.1. Фракційний склад	%	–
4.2. Випаровуваність за NOACK	%	NA
5. Показники здатності до зберігання		
5.1. Гідролітична стабільність	за методом випробувань	–
5.2. Температура помутніння та змішування з холодоагентами	°С	–
5.3. Гарантійний строк зберігання	один рік	–

Продовження табл. 1.10

6. Показники здатності до утворення відкладень		
6.1. Індукційний період утворення осаду	год	«ИПО»
6.2. Стабільність проти окиснення	за методом випробувань	–
6.3. Кількість низькотемпературних відкладень на установці «НАМИ-1М»	мг	–
6.4. Кількість високотемпературних відкладень на установці «НАМИ-1М»	мг	–
6.5. Коксівність	%	–
6.6. Зольність	%	–
6.7. Сульфатна зольність	%	–
6.8. Мийні властивості на установці ПЗВ	бал	–
6.9. Мийні властивості на установках «ИМ-1», Д-240, Д-245	бал	–
7. Показники прогонності		
7.1. Масова частка механічних домішок	%	–
7.2. Масова частка води	%	–
7.3. Динамічна в'язкість за мінусових температур	Па·с	ηт
7.4. Схильність до піноутворювання	см ³	–
7.5. Деемульгувальні властивості оливи	за методом випробувань	–
7.6. Механічна деструкція оливи	%	клас
7.7. Клас чистоти	%	–
8. Показники сумісності		
8.1. Зміна маси, об'єму та межі міцності еластомерів	%	–
8.2. Взаємна розчинність із холодоагентами	%	–
9. Електроізоляційна здатність оливи		
9.1. Напряга пробую	кВ	–
9.2. Тангенс кута діелектричних утрат	%	–
10. Показники токсичності		
10.1. Гранично-допустима концентрація пари оливи в повітрі	мг/м ³	ГДК
10.2. Клас небезпеки	клас	–

11. Показники безпеки		
11.1. Температура спалаху визначена в закритому тиглі	°C	$T_{сз}$
11.2. Температура займання	°C	$T_{зм}$
12. Екологічні показники		
12.1. Показник біорозщеплюваності	%	Б

Показники якості використовують під час розроблення та поставлення олив на виробництво, в нормативних документах, за умов сертифікації, приймально-здавальних випробувань готової продукції.

Для забезпечення надійної та довговічної роботи двигунів і інших механізмів, що змащуються, оливи повинні відповідати таким технічним вимогам:

- задовільною змащувальною здатністю;
- оптимальною в'язкістю, достатньою для створення надійного рідинного шару у вузлах з гідродинамічним змащенням при максимальній температурі;
- пологою в'язкісно-температурною характеристикою (ВТХ);
- необхідними протизадирними властивостями за високих температур;
- високою термоокиснювальною стабільністю;
- низькою корозійною активністю;
- низькою температурою застигання;
- високою температурою спалаху;
- вузьким фракційним складом;
- фізичною однорідністю, тобто відсутністю механічних домішок і води;
- низькою схильністю до піноутворення;
- малою токсичністю.

1.5. Властивості та якість моторних олив

Найбільш важливими експлуатаційними властивостями масел є: змащувальні, в'язкісно-депресорні, мийно-диспергувальні, антикорозійні, термоокиснювальна стабільність.

Комплекс фізико-хімічних властивостей оливо (в'язкісні, протизношувальні, антифрикційні, протизадирні), що обумовлюють ефективність роботи системи тертя (трибосистеми), називається змащувальними властивостями.

1.5.1. Фундаментальні засади змащувальних властивостей оливо

Змащувальна здатність оливо проявляється у здатності попереджувати зношування, задирання, а також знижувати тертя.

Під час роботи пари тертя умови змащування залежать від навантаження, швидкості ковзання, а також від стану і природи оливо. За нормальних умов між поверхнями тертя знаходиться рідкий шар оливо, таке змащування називається **рідинним (гідродинамічним)**, коли сила тертя залежить тільки від в'язкості оливо.

Під час збільшення навантаження або за підвищення температури основна частина оливо витискається з міжповерхневого простору й на поверхнях тертя залишається тільки тонка плівка адсорбованої оливо. Таке змащування називається граничним. Сила тертя в цьому випадку не залежить від в'язкості оливо, а зношування визначається стійкістю адсорбційної плівки та її адгезією до металу. На чотирикульковій машині тертя визначають трибологічні показники:

- **критичне навантаження** – тиск, за якого відбувається різке збільшення коефіцієнту тертя через руйнування адсорбованого граничного шару ММ;
- **навантаження зварювання** – тиск, за якого відбувається міцне з'єднання поверхонь тертя кульок (зварювання);
- **індекс задирання** – показник, що характеризує поведінку ММ під час тертя в режимі пошкодження;
- **діаметр сліду зношування** – визначається при постійному навантаженні і характеризує протизношувальні властивості ММ;
- **навантаження зварювання** – тиск, за якого відбувається міцне з'єднання поверхонь тертя кульок (зварювання);
- **діаметр плями зношування** – визначається при постійному навантаженні та характеризує протизношувальні властивості ММ.

Систематичне вивчення тертя започаткував ще Леонардо да Вінчі (1452–1519 рр.), творчий доробок якого в цій галузі був належно оцінений лише у позаминулому столітті, коли в Національній бібліотеці Мадрида (Іспанія) випадково було знайдено його два невідомих рукописи. Один з них починається з висновку про безглуздість «вічного двигуна»: «Намагання створити вічне колесо – джерело вічного руху – можна назвати однією з нездійснених примар людини». Так написав він за багато років до того, як Французька академія наук визнала «вічний двигун» антинауковим і відмовилась їх розглядати. Створивши для досліджень експериментальну установку, за 200 років до дослідів Г. Амонтона і майже за 300 років до Ш. Кулона, Леонардо да Вінчі визначив, що «сила тертя залежить від матеріалу контактуючих поверхонь: вона прямо пропорційна масі вантажу і може бути зменшена через додавання ММ між контактуючими поверхнями тертя». Він увів в інженерну термінологію поняття «коефіцієнт тертя» і запропонував склад металевого мастила з трьох частин міді та семи частин олова, що близьке до антифрикційного складу «бабіту», запатентованого лише в 1839 р. А. Бабітом. У 1699 р. Г. Амонтон за результатами власних досліджень сформулював емпіричний закон, відповідно до якого статичне тертя F (сила тертя) пропорційне силі тиску N між двома поверхнями, що контактують: $F = \mu \cdot N$, де μ – коефіцієнт тертя, що залежить від характеру й стану поверхні обох тіл на площинах контакту. Вагомий внесок у розвиток науки про тертя належить Ш. Кулону (1736–1806 рр.). Вирішуючи практичні завдання для військово-морського флоту, пов'язані з вивченням сил, що виникають під час спуску кораблів зі стапелів на воду, а також при визначенні опору стрілки компасу, він визначив коефіцієнти тертя для різних пар матеріалів (металів, мінералів, деревини) і сформулював двоякість природи тертя. За Кулоном сила тертя є сукупністю двох видів опору – зчеплення, що залежить від площі контакту, та зачеплення, що пропорційне навантаженню і не залежить від площі контакту. Тобто сила тертя $F = A + \mu \cdot N$, де A – константа, що характеризує здатність тіл до взаємного зчеплення. Для грубо оброблених поверхонь величина зчеплення незначна та визначається силами міжмолекулярної взаємодії обох тіл у парі тертя.

У 1734 р. Ж. Дезагюльє виявив, що поліровані металеві зразки сильно зчеплюються під час тертя й пояснив це явище їх здатністю до злипання (адгезії). У 1804 р. Д. Леслі під час вивчення закономірностей розсіювання тепла під час тертя висунув гіпотезу, що тепло під час тертя тіл розсіюється внаслідок неминучого деформування поверхонь. Майже через 150 років Д. Бриллюен довів, що енергія може розсіюватись при послідовному утворенні та розриві адгезійних зв'язків між атомами. За Ф. Боуденом і Д. Тейбором сила сухого тертя пояснюється виникненням та руйнуванням адгезійних містків, що утворюються внаслідок своєрідного «холодного зварювання» на локальних ділянках контакту. На думку І. Крагельського, крім адгезійного, важливе значення має ще один вид зв'язку – зачеплення й впровадження поверхонь. Ним запропонована молекулярно-механічна теорія тертя, за якою процес тертя являє собою деформування тонких поверхневих шарів контактуючих тіл, що ускладнене руйнуванням адгезійних містків зварюванням між плівками, що покривають ці тіла. Через хвилястість та шорсткість поверхонь тверді тіла контактують на незначних за площею ділянках фактичного контакту на вершинах хвиль і нерівностей. У цих місцях діють сили міжмолекулярної взаємодії та виникають містки холодного зварювання. Крім адгезійної (молекулярної) взаємодії відбувається і механічна, оскільки в зоні фактичного контакту більш тверді виступи впроваджуються в сполучене тіло і відбувається зчеплення нерівностей, містки зварювання зрізуються і утворюються знову.

Види тертя класифікують за різними ознаками: фізичними, кінематичними, за наявністю змащування поверхонь. Відмінною особливістю тертя є його дисипативний (розсіювальний) характер, тобто тертя завжди супроводжується переходом механічної енергії в інші її види: теплову, хімічну тощо. За фізичного природою розрізняють **тертя внутрішнє** і **зовнішнє**. При внутрішньому терті перетворення механічної енергії в теплову відбувається в усіх локальних ділянках точках певного об'єму, навіть якщо він, подібно до змащувального шару, має дуже малу товщину. Отже доцільним є застосування терміну «внутрішнє тертя». При внутрішньому терті тепло поширюється тільки уздовж поверхні розділу двох тіл, де відбувається процес ковзання. Найбільш цікавим для машинобуду-

вання є зовнішнє тертя, що називають власне тертям і під яким розуміють опір, що виникає при відносному переміщенні двох тіл по поверхні їх контакту (сполучення). Силу опору, або силу тертя залежно від довжини переміщення, розділяють на силу тертя руху, силу тертя спокою, найбільшу силу тертя спокою. **Сила тертя руху** – сила опору відносному руху контактуючих тіл при відсутності інших опорів. **Сила тертя спокою** – сила опору, спрямована протилежно зсувному зусиллю, за відсутності зсуву на межі контакту. Вона змінюється від нуля до максимуму, коли переходить у найбільшу силу тертя спокою. Найбільшу силу тертя спокою складає граничний опір відносному переміщенню контактуючих тіл без порушення зв'язку між ними й за відсутності зсуву під час контакту. Деформація тіл, у першу чергу їх шорсткостей, під дією зсувного зусилля і протилежної йому сили тертя спокою, викликає попередній зсув тіл, що передуває їх макропереміщенню (рис. 1.4).

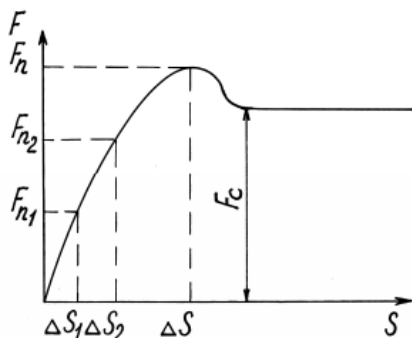


Рис. 1.4. Залежність величини зсуву S від сили тертя F :

F_{n1} – неповна сила тертя спокою; ΔS_1 – величина попереднього зсуву;
 F_n – найбільша сила тертя спокою; F_c – сила, необхідна для взаємного переміщення твердих тіл

Попередній зсув частково оборотний, але визначити його візуально неможливо, тому що він вимірюється мікрометрами. У той момент, коли під дією прикладеної сили, сила тертя досягає значення найбільшої сили тертя спокою F_n , попередній зсув

переходить у поступальне переміщення S . Причому переміщення тіл згодом може відбуватися під дією сили F_c , що менша за F_n .

За кінематичним значенням розрізняють **тертя ковзання** та **тертя кочення**. Тертя ковзання, виникає тоді, коли одні і ті ж самі точки одного тіла приходять у зіткнення з все новими точками іншого тіла. Відносні швидкості руху різних точок взаємодіючих тіл при цьому однакові (рис. 1.5, а). Під час тертя кочення одне тіло перекочується по іншому і точки, що слідують одна за одною, стикаються з аналогічними точками іншого тіла. Різними в цьому випадку є відносні швидкості різних точок тіла кочення (рис. 1.5, б).

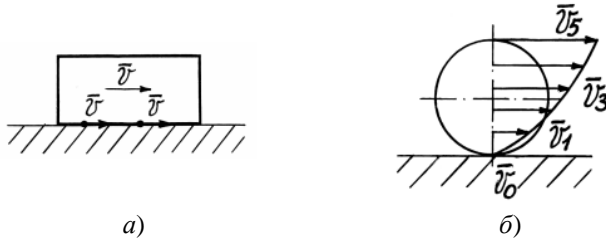


Рис. 1.5. Схематична інтерпретація тертя:
а) ковзання; б) кочення

Часто один вид тертя супроводжується іншим, наприклад, тертя кочення з проковзуванням. Залежно від наявності ММ в з'єднанні та його участі в процесі, прийнято розрізнявати тертя без змащування, тертя з граничним змащуванням, тертя з рідинним змащуванням, тертя з напіврідинним змащуванням. Узагальнено запропоновано розрізнявати види тертя залежно від наявності ММ, а саме: **сухе тертя** (без змащування), **граничне тертя**, **рідинне (гідродинамічне) тертя**. **Сухе тертя** (тертя без змащування) спостерігається за відсутності ММ й забруднень поверхонь тертя. Воно зустрічається в гальмах, фрикційних передачах, у вузлах тертя машин харчової, переробної, іноді хімічної, енергетичної промисловості, де змащування для запобігання псування продукції, або за вимогами безпечної експлуатації неприпустиме. Сухе тертя супроводжується стрибкоподібним переміщенням поверхонь. З цим, наприклад, пов'язана вібрація автомобіля під час включення зчеплення, «смикання» під час гальмування тощо. При сухому терті на поверхні контакту можуть бути плівки оксидів, волога,

забруднення, що суттєво впливають на силу й коефіцієнт тертя. Причому сили молекулярної взаємодії між контактуючими поверхнями можуть бути в сотні разів меншими, ніж у випадку контакту чистих поверхонь. Крім того, міцність оксидних плівок менша за міцність основного металу, тому опір дряпанню та зрізуванню часток під час переміщення також суттєво знижується, внаслідок чого коефіцієнт тертя зменшується. Наявність товстих плівок оксидів приводить до збільшення площі фактичного контакту, що може викликати збільшення сили тертя. Граничне тертя, за якому поверхні тертя розділені шаром ММ настільки незначної товщини (близько 0,1 мкм і менше), через що цей шар має особливі властивості, що відрізняються від об'ємних властивостей змащувального матеріалу і залежать від природи та стану поверхонь тертя. Класичні рівняння гідродинаміки в'язкої рідини в цьому випадку не застосовуються. При рідинному терті поверхні повністю розділені шаром мастильної рідини, що знаходиться під тиском, що врівноважує зовнішнє навантаження. Цей шар рідини називається несущим. Гранична мастильна плівка може бути утворена ММ, що знаходиться в будь-якому агрегатному стані: твердому, пластичному, рідкому, газоподібному. Оливи являють собою суміш різних вуглеводнів і містять довгі метилові ланцюги. Кожна молекула такого ланцюга має на одному кінці карбоксильну групу COOH з високим енергетичним потенціалом, а на іншому – нейтральну метильну групу CH_3 . Металева поверхня здійснює на ланцюг каталітичну дію, внаслідок чого йому надається вертикальна орієнтація. За нетривалий час під дією сил поля та внутрішньомолекулярних сил відбувається подальша надбудова ланцюгів і утворюється граничний шар, в якому групи CH_3 є «слабкими» ланками. Передбачається, що вздовж площин CH_3 відбувається пошарове ковзання всередині мастильної плівки. Набувши певної структури, граничний шар втрачає свої початкові властивості ММ: мастило здобуває квазікристалічну структуру, внаслідок чого змінюються його механічні властивості. Міцність на стискання такої плівки збільшується до декількох сотен МПа, а опір зсуву залишається незначним. Перший з цих параметрів визначає високу вантажопідйомність плівки, а другий – низький коефіцієнт тертя. Граничні мастильні шари можуть бути утворені графітом,

нітридом бору, дисульфідом молібдену або вольфраму тощо. У кристалічних ґратках цих речовин зв'язки між окремими шарами значно менші, ніж всередині кожного шару. Тому, наприклад, графіт добре «прилипає» до поверхні металу й в процесі тертя розшаровується, внаслідок чого ковзання відбувається фактично по площинах з'єднання його окремих «пелюстків».

Рідинне тертя виникає за певних умов, коли між навантаженими поверхнями утримується шар ММ завтовшки декілька десятків мікрометрів і більше, у якому зберігається найважливіша властивість рідини – в'язкість. Отже, поверхні тертя розділені шаром оливи (ММ), що сприймає прикладене нормальне навантаження. Очевидно, що мінімальна товщина шару повинна перевищувати суму максимальних висот нерівностей обох поверхонь. У цьому випадку тертя твердих тіл замінюється внутрішнім тертям шарів оливи (ММ). Рідинний режим є найбільш бажаним, тому що практично усуває зношування поверхонь, а втрати потужності пов'язані тільки з тертям усередині шарів мастильної рідини. Несуча здатність рідинному шару може бути надана гідростатичним і гідродинамічним способами. У першому випадку рідина подається в з'єднання насосом і тиск рідини на вході в зазор повинен забезпечити протидію зовнішньому навантаженню. Гідродинамічний спосіб оснований на гідродинамічному ефекті. Якщо струменю оливи надати швидкості V , то в клиноподібному зазорі виникає вертикальна сила $PB = P \cdot ctg\alpha$, що врівноважує зовнішню силу Q , що прикладена до тіла В (рис. 1.6, а). Необхідну швидкість V можна надати оливі її нагнітанням в зазор або безперервним односпрямованим рухом тіла А у напрямку V . На рис. 1.6, а, б показана епюра швидкостей шарів рідини в перетині «І–І», коли вона нагнітається насосом. Частки рідини, що прилягають до тіл А і В, мають нульову швидкість, а по мірі віддалення від поверхні швидкість течії рідини збільшується до максимуму в середній частині зазору (рис. 1.6, б). Якщо тілу А надати безперервний рух в один бік, граничний шар рідини, зв'язаний з тілом А силою зчеплення, захоплює за собою поверхневі шари, внаслідок чого в зазорі утворюється безперервний потік рідини, що також використовується для створення рідинного режиму тертя (рис. 1.6, в).

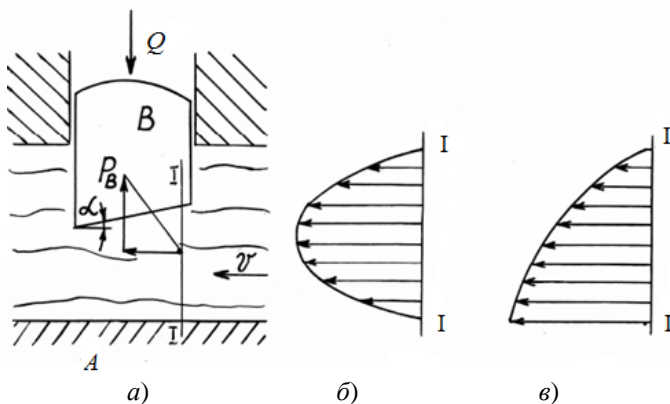


Рис. 1.6. До пояснення виникнення рідинного тертя

Найважливішими завданнями науки хімотології є: обґрунтування оптимальних технічних вимог до якості олив і підвищення ефективності їх використання на основі аналізу досвіду експлуатації техніки (додаток 5). Такі вимоги включають норми щодо фізико-хімічних, експлуатаційних властивостей олив з урахуванням технології їх одержання, екології та економіки виробництва.

1.5.2. Фізико-хімічні властивості

В'язкість та індекс в'язкості олив. Показник в'язкість вказує на властивість рідини створювати опір переміщенню, зумовлений внутрішніми молекулярними взаємодіями в рухомому середовищі. В'язкість залежить від складу оливи, а також температури, тиску, швидкості зсуву та часу роботи оливи у вузлі тертя.

На практиці використовують поняття **динамічної (абсолютної), кінематичної й позірної** в'язкості.

Динамічна в'язкість (η , Па·с) – відношення напруження зсуву до градієнта швидкості зсуву. Напруження зсуву – це відношення діючої сили до площини твердих тіл, розділених шаром рідини. Градієнт швидкості зсуву – відношення швидкості переміщення рухливого твердого тіла до товщини шару рідини між рухомим і нерухомим тілом.

Динамічна в'язкість характеризує властивість оливи за

граничних значень температур та швидкості зсуву текти та змащувати вузли тертя в холодному двигуні. Визначають динамічну в'язкість моторних олив за допомогою імітатора холодного запуску – CCS в діапазоні температур від мінус 5 °С до мінус 35 °С, напругах зсуву від 50000 Па до 100000 Па, швидкостях зсуву від 105 с⁻¹ до 104 с⁻¹ та в'язкостях від 500 МПа·с до 25000 МПа·с. Імітатор холодного запуску є ротаційним віскозиметром з малим проміжком між профільованим ротором і прилеглим до нього статором, що імітують щілини в підшипниках двигуна. Спеціальним двигуном підтримується постійний крутний момент за заданих температур, а швидкість обертання є мірою в'язкості. Віскозиметр калібрують за допомогою еталонних олив.

Динамічна в'язкість прокачування є мірою властивості оливи текти і створювати необхідний тиск в системі змащування за первинної стадії роботи холодного двигуна. В'язкість прокачування визначається на міні-ротаційному віскозиметрі MRV. Найменша температура, за якої олива прокачується, називається нижньою температурою прокачування, її значення близьке до найнижчої температури експлуатації.

Кінематична в'язкість (ν , м²/с) характеризує текучість оливи під дією власної сили тяжіння та являє собою відношення динамічної в'язкості до густини оливи. Кінематична в'язкість – міра опору рідини витікати під дією сили тяжіння за певної температури (зазвичай 40 °С або 100 °С). Визначають за допомогою капілярних віскозиметрів. Суть методу полягає у визначанні часу витікання певного об'єму рідини під тиском сили тяжіння.

Співвідношення, у якому в'язкість залишається сталою незалежно від напруження зсуву або швидкості зсуву, називається ньютонівським законом в'язкості. Безліч розчинників, мінеральні оливи, синтетичні базові рідини і готові незагущені оливи описуються ньютонівським законом в'язкості. Такі рідини прийнято називати ньютонівськими. Неньютонівські рідини визначаються як рідини, у яких в'язкість не постійна, а змінюється у залежності від швидкості зсуву або напруження зсуву. Прикладом неньютонівської рідини може бути бітум, гумовий клей.

В'язкість нафти і нафтопродуктів, що не підкоряються закону Ньютона, змінюється у залежності від градієнта швидкості.

У цьому випадку використовують поняття **позірної** в'язкості. Основною причиною аномалії в'язкості нафтопродуктів є деформація частинок, що виникає під час збільшення напруження зсуву.

Одним зі способів регламентації в'язкісно-температурних властивостей оливо є ІВ (VI – viscosity index), що відображає характер **в'язкісно-температурної характеристики** (ВТХ) через порівняння з кривими еталонних оливо, в'язкість яких за $t = 98,8$ °С дорівнює в'язкості оливи, що випробовується. Ліпше з еталонних оливо має пологу ВТХ та ІВ, що дорівнює 100, гірше – круту ВТХ та ІВ = 0. Розраховують ІВ за формулами (ГОСТ 25371):

ПЕРЕВІРИТИ

$$ІВ = (v - v_1) / (v - v_2) \cdot 100 \text{ або } ІВ = (v - v_1) / v_3 \cdot 100,$$

де v – кінематична в'язкість оливи за 40 °С з ІВ, що дорівнює 0 і має за 100 °С таку кінематичну в'язкість, як олива, що випробовується, мм²/с; v_1 – кінематична в'язкість оливи, що випробовується за 40 °С, мм²/с; v_2 – кінематична в'язкість оливи за 40 °С з ІВ, рівним 100 і має за 100 °С таку кінематичну в'язкість, як олива, що випробовується, мм²/с; $v_3 = v - v_2$.

Беручи до уваги великий діапазон експлуатаційних температур оливо (з мінусових під час запуску двигуна взимку та до 220–230 °С) рекомендовано, щоб, наприклад, моторна олива мала якнайбільше значення ІВ. Незагущені сезонні мінеральні оливи мають ІВ у межах 90–105. Загущені всесезонні оливи (особливо синтетичні) мають ІВ від 130 до 180 та більше. Оливи з такими значеннями ІВ забезпечують холодний пуск двигунів взимку та надійне змащування їх тертьових деталей під час роботи з високим навантаженням у літню пору.

Взаємозалежність між маркуванням в'язкості та робочим діапазоном температур оливо наочно ілюструє рис. 1.7.

Однією із найважливіших функцій оливи у двигуні, крім змащування, є його здатність до підтримання двигуна у чистоті, а також здатність до нейтралізації кислих продуктів згорання, що можуть потрапити до оливи. Ці властивості оливи забезпечуються мийними та диспергувальними присадками. Мірою мийних

і диспергувальних присадок є **лужне число** (число нейтралізації, TBN, мг КОН/г).

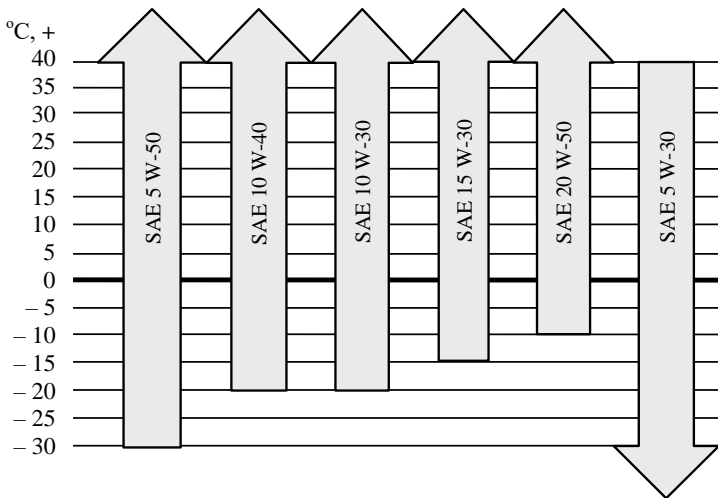


Рис. 1.7. Взаємозалежність між маркуванням в'язкості та робочим діапазоном експлуатаційних температур оливи

Лужне число оливи різного призначення знаходиться у широких межах. Наприклад, оливи для двотактних двигунів мають лужне число 1–2 мг КОН/г, оливи для автотракторних двигунів – 5–15 мг КОН/г. З лужним числом тісно пов'язана сульфатна зольність оливи. Зола – це неорганічні речовини, в основному оксиди і солі металів, що залишається після згорання усіх органічних компонентів оливи. Зола, переведена у сульфід, називається сульфатною зольністю. Оливи для бензинових двигунів мають сульфатну зольність 0,8–1,5 %, для дизельних – 1–2 % .

З іншого боку, показником, що характеризує наявність у складі оливи продуктів окиснення вуглеводнів, є **кислотне число** (мг КОН/г). Стійкість оливи до окиснення підвищують додаванням до їх складу антиокиснювальних присадок. Іншими словами мірою старіння оливи є їх кислотне число. Під час тривалої роботи оливи у двигуні інтенсивне зростання в'язкості, обумовлене окисненням, починається після практично повного виснаження антиокиснювальних присадок. У стандартах і технічних умовах на моторні

оливи їх стійкість до окиснення непрямо характеризується **індукційним періодом осадоутворення** (ГОСТ 11063).

Температура спалаху – це найнижча температура, за якої пари оливи, що нагрівається утворюють з навколишнім повітрям таку суміш, що спалахує від відкритого вогню, але швидко гасне через недостатню інтенсивність випаровування. Визначається двома методами – у **відкритому** (для оливи) і **закритому** (для палив) **тиглях**.

Температуру спалаху використовують для ідентифікації базових оливи і ММ, вона є дуже важливою характеристикою при класифікації продуктів відповідно до міжнародних правил транспортування.

Температура займання – найнижча температура оливи, за якої за встановленими умовами випробувань над її поверхнею утворюється пара або газу з такою швидкістю, що після їх запалювання виникає стійке горіння.

Температура застигання та помутніння. Поведінка оливи у низькотемпературних умовах характеризується температурою, за якої олива стає мутною за стандартизованих умов охолодження через початок виділення парафіну, або температурою, за якої олива перстає текти.

Температура застигання – показник здатності оливи залишатися плинною за низьких робочих температур. Це найменша температура, за якої рідина залишається плинною після охолодження в певних умовах.

Температура помутніння – температура, за якої в охолоджуваній у стандартних умовах оливі з'являється значна кількість кристалів парафіну. Характеризує тенденцію речовини забивати фільтри або невеликі отвори в холодну погоду.

Густина. Густина – фізична константа, маса одиниці об'єму оливи (в $\text{кг}/\text{м}^3$, $\text{г}/\text{см}^3$).

Для визначення густини оливи застосовують різноманітне випробувальне обладнання, наприклад ареометри, пікнометри, гідростатичні терези або цифрові густиноміри.

Густина залежить від фракційного складу базових оливи. Використовується здебільшого для перерахунку об'ємних одиниць у масові при відпусканні оливи покупцю.

Колір. Товарний вигляд оливи оцінюється за її кольором. Колір оливи залежить від наявності темних смолистих речовин і від властивостей нафти, з якої виготовлено оливу. Колір є показником товарного вигляду оливи, оскільки покупець прихильний оцінювати якість оливи за її кольором.

Масова частка активних елементів – показник, що характеризує кількість і якість введених до оливи присадок, а також кількість активної сірки в базовій оливі.

1.5.3. Експлуатаційні властивості

Стабільність до окиснення – це здатність оливи протистояти окисненню. Окиснення вуглеводнів є багатостадійним процесом. На початку окиснення накопичуються вихідні продукти – перекиси, що в подальшому різко прискорюють процес. Цей перший етап окиснення практично не викликає помітних змін фізичних властивостей олив і називається індукційним періодом. Його тривалість є показником стійкості оливи до окиснення. Вивчення ходу реакції окиснення за витратою кисню є одним з найбільш простих і точних методів вивчення окиснення органічних сполук. Під час окиснення утворюються кислоти, смоли, зростає в'язкість оливи, на нагрітих поверхнях утворюються відкладення, нагар, лак, накопичення яких може призвести до збільшення зношування, заклинювання кілець, штовхачів та ін. Кислі продукти викликають корозію деталей двигуна й прискорюють старіння гумових деталей.

Для оцінювання стійкості до окиснення олив під час визначення їх рівня якості використовують не тільки лабораторні, але й стендові випробування, що найбільше відповідають реальним умовам експлуатації.

Показник **зольність** вказує на наявність золоутворюючих компонентів (здебільшого металовмісних присадок). Суть методу полягає в спалюванні оливи та прожарюванні твердого залишку до постійної маси. Виражається у % мас.

Сульфатна зольність визначає загальну насиченість присадками багатофункціонального пакету, введеного до оливи, що опосередковано свідчить про високі експлуатаційні властивості.

Визначається зважуванням залишку, одержаного під час спалювання оливи в присутності сірчаної кислоти. Чим більша сульфатна зольність, тим більше в оливі присадок. Значення параметру не повинне перевищувати 1,3 % від загальної маси оливи для бензинових двигунів і 1,8 % для дизелів, тому що надлишкова сульфатна зольність збільшує нагароутворення.

Коксівність. Характеризує схильність оливи під час нагрівання утворювати залишок (після випаровування легких фракцій) з подальшим термічним розкладанням залишку оливи за відсутності повітря. Визначання показника за Конрадсоном полягає у спалюванні нафтопродукту в апараті та визначанні маси коксового залишку. Виражається у %.

Мийні властивості олив. Здатність змивати забруднення всередині двигуна є однією з важливіших характеристик сучасної оливи, оскільки безвідмовна робота двигуна протягом тривалої експлуатації можлива тільки за умови збереження чистоти усіх його деталей. Ресурс роботи оливи обумовлений здебільшого його мийними властивостями, тому в усіх моторних випробуваннях мийним властивостям приділяють найбільшу увагу. Якщо під час тривалої роботи двигуна деталі не забруднюються, вважається, що олива має хороші мийні властивості. Мийні властивості моторних олив оцінюються безпосередньо чистотою деталей двигуна та опосередковано загальним лужним числом (TBN) та коксівністю. Мийні властивості олив визначаються за допомогою стендових моторних випробувань, поодиноким випадком є установка ПЗВ.

Показник масової частки води свідчить про вміст в оливі домішок води. Визначання полягає в нагріванні проби оливи з нерозчинними у воді розчинниками та вимірюванні об'єму сконденсованої води. Виражається у % об. або % мас. Через потрапляння води в оливі утворюються низькотемпературні відкладення, що перешкоджають фільтрації олив, погіршуючи тим самим подачу оливи до вузлів тертя.

Показник масова частка механічних домішок свідчить на забрудненість оливи сторонніми домішками. Визначання полягає у фільтруванні розчину оливи в бензині чи толуолі, промиванні осаду на фільтрі розчинником з подальшим висушуванням та зважуванням. Виражається в % мас. Сторонні частинки можуть

потрапляти в оливу під час виробництва, транспортування чи/або зберігання. Під час експлуатації оливи можуть забруднюватися олив нерозчинними продуктами окиснення та зношення. Накопичення механічних домішок призводить до забивання фільтрів, оливопровідних каналів, до підвищення швидкості окиснення оливи, підвищення абразивного зношування.

Схильність до піноутворення. Під час експлуатації двигуна в його оливній системі може утворитися піна, що призводить до порушення змащувальної здатності, зменшення продуктивності оливного насосу й припиненню текучості оливи, а у кінцевому результаті – до явища граничного тертя. Головною причиною утворення піни в оливах є присутність води або охолоджуючої рідини. Тому вкрай важливим є визначення піноутворюючої здатності оливи. Схильність оливи до піноутворення оцінюють продуванням повітря з постійною швидкістю крізь змащувальну оливу протягом 5 хв. Об'єм утвореної піни вимірюють одразу і потім через 10 хв після того, як піна осіла. Випробування проводять у три етапи. Перший етап – за температури 24 °С, другий етап – за температури 94 °С, третій етап – за температури 24 °С оливи, що пройшла випробування за температури 94 °С. Схильність до піноутворення значно збільшується, якщо в оливі є вода.

Деемульгуючі властивості оливи. Вода – поганий ММ, що посилює корозію, тому слід уникати наявності води в оливі. На відділення води суттєво впливають деемульгуючі властивості оливи. Для визначення ступеня деемульгуючих властивостей у градуйованому циліндрі за заданої температури та швидкості перемішують мінеральну оливу з дистильованою водою. Вибір температури випробування залежить від кінематичної в'язкості оливи. Після перемішування визначають час необхідний для відділення оливи від води. Оцінювання здійснюють через кожних 5 хв. Якщо через 30 хв відстоювання відділення води від оливи не буде повним, то фіксують об'єм води, оливи та емульсії.

Механічна стабільність – це здатність оливи протидіяти процесам механічної деструкції.

Стійкість до механічної деструкції – це властивість оливи зберігати постійну в'язкість під дією високої деформації зсуву під час експлуатації. Під час швидкого ковзання поверхонь тертя

досягається висока швидкість витікання оливи, у вузьких щілинах виникає деформація зсуву що викликає деструкцію молекул полімерів (загусників), що входять до складу олив. Зменшення в'язкості в процесі деструкції може призвести до зміни режиму змащування, прояву процесів пошкодження поверхонь тертя, а також до збільшення витікання оливи із системи змащування.

У сучасних двигунах основним джерелом втрат оливи є втрати, пов'язані з випаровуванням, з одного боку, через присутність низькокиплячих фракцій у складі оливи, з іншого боку – підвищених температур, за яких використовується олива у двигуні. Чим вище цей показник, тим втрати оливи будуть менше (рис. 1.8).

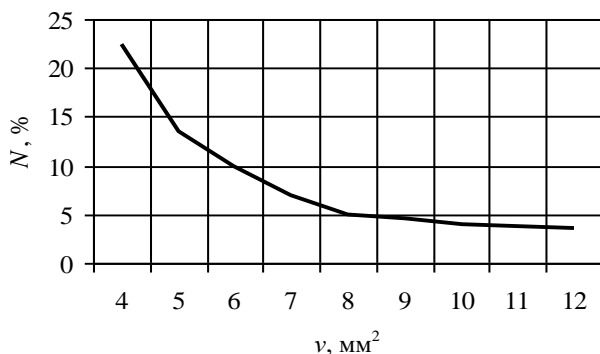


Рис. 1.8. Вимоги до випаровуваності за NOACK (N , %) для олив різного рівня в'язкості

Випаровуваність за NOACK визначається під час випробування оливи протягом 1 год за температури 250 °C із продувкою повітрям. Непрямо випаровуваність за NOACK можна розрахувати за формулою:

$$N = 123,075 - 0,283 \cdot t_{10},$$

де t_{10} – температура відгону 10 % оливи, °C.

Клас чистоти. Оливи повинні бути чистими, без забруднень, тому під час транспортування необхідно забезпечувати високий рівень чистоти. Чистота робочої рідини характеризується класами

чистоти від 0 до 17. Кожному класу відповідає допустима кількість частинок певного розміру і загальна маса забруднень. Усі забруднення діляться на дві групи: частинки й волокна. Волокнами вважаються частинки товщиною не більше 30 мкм при відношенні довжини до товщини не менше 10:1. Частинки забруднень розміром більше 200 мкм (не рахуючи волокон) у робочій рідині не допускаються.

Гарантійний термін зберігання – строк, протягом якого споживчі властивості товару не повинні погіршуватися за умови дотримання вимог нормативних документів. Гарантійний термін зберігання обчислюється від дати виготовлення товару та закінчується датою, визначеною виробником.

Гранично допустима концентрація (ГДК) – показник безпечного рівня вмісту шкідливих речовин у навколишньому середовищі.

Відповідає максимальній кількості шкідливої речовини в одиниці об'єму або маси, що при щоденному впливі впродовж необмеженого часу не викликає будь-яких змін в організмі людини і несприятливих спадкових змін у нащадків, а також не призводить до порушення нормального відтворення основних ланок екологічної системи природного об'єкта.

Клас небезпеки речовини (I, II, III, IV) – ступінь небезпеки для людини хімічних речовин, що забруднюють повітря, що залежить від їх токсичності, кумулятивності, лімітуючої ознаки шкідливості та здатності викликати несприятливі віддалені ефекти.

Головним параметром, за яким оцінюють передбачувану шкоду тих або інших ММ для довкілля, є **біологічна розщеплюваність (біорозщеплюваність)**.

Здатність будь-якої речовини піддаватися руйнуванню мікроорганізмами на нетоксичні водорозчинні сполуки називається біологічною розщеплюваністю. Біологічна розщеплюваність оливок, як експлуатаційна властивість стає все більш актуальною. Звичайні мінеральні оливи та інші нафтопродукти, а також деякі синтетичні оливи не розкладаються біологічно та завдають істотної шкоди навколишньому середовищу протягом тривалого часу. Вплинути на розкладання можуть не лише вода або мікроорганізми, але й сонячні промені або повітря. У результаті процесу біорозщеплення

утворюються найбільш безпечні для довкілля компоненти, зокрема вуглекислий газ, вода та різні мінеральні солі.

У США, наприклад, розроблена нова методика визначення біорозщеплюваності за ASTM D 586), згідно з якою здатними біологічно руйнуватися вважаються ті оливи, що через 28 днів розкладаються на 60 %. В Європі поки немає такого методу, тому біологічна розщеплюваність нафтопродуктів тимчасово визначається за методикою СЕС (СЕС-L-33-A-93), призначеної для визначення біологічної розщеплюваності моторних олив для двотактних двигунів, а також за галузевим стандартом Німеччини VDMA 24 568, що призначений для визначення біологічної розщеплюваності гідравлічних рідин. Рослинні оливи та жири тварин мають добру біологічну розщеплюваність, парафінові оливи розкладаються важко, а нафтові сполуки не розкладаються взагалі. Легко розкладаються сполуки, що мають складно-ефірні групи, порівняно легко розкладаються деякі синтетичні ефірні та полігліколеві оливи. Для поліпшення біологічної розщеплюваності мінеральних олив піддають хімічній модифікації.

1.6. Зміна якості олив під час використання

В умовах використання олив відбуваються істотні зміни їх складу та експлуатаційних (у тому числі й екологічних) властивостей. Під час протікання хімотологічних процесів змінюється склад олив, що неминуче призводить, як правило, до погіршення їх фізичних, фізико-хімічних, експлуатаційних і екологічних властивостей.

Зміна властивостей олив в умовах виробництва, транспортування, зберігання й використання відбувається внаслідок протікання таких основних процесів:

1. **Фізичні:** випаровування легких фракцій, забруднення механічними домішками, поглинання вологи, кристалізація, змішування з іншими нафтопродуктами, кристалізація алканів і твердих вуглеводнів тощо.

2. **Хімічні:** окиснення вуглеводнів і гетероатомних сполук, полімерізація, поліконденсація, розщеплення малостабільних компонентів, нейтралізація, корозія металів тощо.

3. **Фізико-хімічні:** коагуляція механічних домішок і продуктів окиснення, сольватація, адсорбція й десорбція на металевих поверхнях вузлів тертя тощо.

Зміна якості олив залежить від хімічного складу (X), умов зберігання, транспортування та використання (Y), а також конструктивних особливостей технічних засобів (K). Тобто у загальному випадку швидкість зміни якості олив (W_k) можна описати таким чином:

$$W_k = f(X; Y; K).$$

Внаслідок протікання цих процесів відбувається обважнення фракційного складу палив, утворення та накопичення продуктів окиснення (смола, осадів), накопичення механічних домішок, води, продуктів корозії й зношування металів, зміна в'язкості, кислотності та інші зміни.

Випаровування легких фракцій (обважнення фракційного складу). Випаровування олив може досягати 15–20 %, що призводить до втрат оливи та забруднення навколишнього середовища.

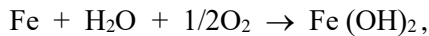
Обводнення. Пов'язане з поглинанням вологи з атмосфери внаслідок негерметичності паливно-оливних систем, конденсації вологи із відпрацьованих газів двигуна. Обводнення погіршує об'ємні та поверхневі властивості, зокрема, низькотемпературні властивості, підсилює електрохімічну корозію й зношування деталей паливно-масляних систем. В умовах використання попадання вологи до складу олив неминуче.

Окиснення, корозія, тертя та зношування у середовищі олив особливо жорстко спостерігається в умовах роботи паливно-оливних систем двигунів ЛА. Наприклад, оливи нагріваються в підшипниках: компресора до 150–200 °С, турбіни – до 250–350 °С. Такі умови роботи вимагають, щоб олива мала низький рівень випаровуваності, високі антиокиснювальні й антикорозійні властивості, і цього можна досягнути через використання як технологічних процесів під час отримання олив, так і спеціальних присадок. Продукти хімічних перетворень і домішки, що утворюються й накопичуються у складі олив під час їх використання, впливають на роботу агрегатів паливно-оливної системи двигуна.

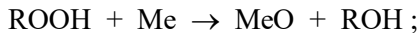
Смолисті речовини в складі олив засмічують фільтри, збільшують в'язкість і погіршують низькотемпературні властивості оливи, підвищують його електропровідність (вкрай небажано для трансформаторних олив).

Карбонові кислоти. Низькомолекулярні кислоти викликають корозію металів за хімічним механізмом. Високомолекулярні кислоти у складі олив викликають корозію кольорових металів (свинцю, кадмію та інших), призводячи до утворення розчинних в оливах солей. Мідь та її сплави (олов'янистий, свинцевий баббіті) більш стійкі до впливу карбонових кислот. Механізм корозії металів карбоновими кислотами пов'язаний з попереднім утворенням оксидів металу та включає дві стадії:

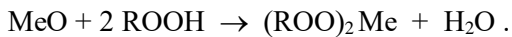
а) електрохімічна корозія (анодний та катодний процеси) з утворенням оксиду:



або взаємодія металу, наприклад, двовалентного, з гідроперекисами:



б) хімічна взаємодія оксиду металу з карбоновими кислотами:



Вода (у вільному або емульсійному стані) погіршує прокачування, фільтрування олив за низьких температур, підсилює процеси електрохімічної корозії сталевих деталей, погіршує протиспрацювальні властивості та знижує їх біостійкість. Вода змінює діелектричні властивості (збільшує електропровідність) та погіршує антикорозійні властивості олив. Під впливом води відбувається гідроліз деяких присадок і низка інших небажаних процесів.

Для забезпечення необхідного рівня якості, що повинно задовольняти технічним і екологічним вимогам експлуатації техніки, на практиці здійснюють регулювання складу олив в умовах їх промислового виробництва. Регулювання складу базових продуктів здійснюють за допомогою сучасних технологічних процесів і на стадії одержання товарних продуктів через додавання спеціальних присадок. В умовах використання з метою запобігання або мінімізації небажаних змін, а також відновлення якості продуктів, як правило, застосовуються фізичні (фільтрування, сепарування, змішування некондиційного продукту зі свіжим, що має запас якості, тощо), а в умовах виробництва – хімічні (гідрогенізація, використання реагентів) методи впливу на продукти.

Найпоширенішим способом відновлення якості некондиційних олив є змішування із продуктами аналогічної марки, що мають «запас» якості за основними показниками: в'язкість, температура спалаху, коксівність, кислотне число, зольність, густина, вміст механічних домішок, води.

Перед відновленням якості виконують повний лабораторний аналіз некондиційного продукту та продукту із «запасом» якості. Розраховують об'ємне або масове співвідношення продуктів, що змішують. Готують у лабораторії розраховану суміш і визначають її якість. Потім готують необхідне для змішування устаткування (ємкості, засоби перекачування та змішування). Під час змішування заливають у ємкість продукт із більшою густиною та подають у нижню частину ємкості продукт із меншою густиною. Перемішують продукти циркуляцією за допомогою насосу до досягнення однакової густини у верхньому, середньому та нижньому шарах суміші. Якість отриманої суміші перевіряють лабораторним аналізом. Високов'язкі продукти (котельні палива, оливи) змішують у ємкостях з підігріванням до 60–80 °С.

Окрім в'язкості й температури спалаху, більшість показників якості олив аддитивні, тобто їх величини для суміші змінюються прямопропорційно до вмісту компонента у суміші.

Під час відновлення якості продукту за в'язкістю з достатньою точністю можна використати наступну розрахункову формулу (за умов $v_1 > v_2$):

$$v_c = [v_1 G_1 + v_2 G_2 - K(v_1 - v_2)] / 100,$$

де v_c – в'язкість суміші; v_1, G_1 – в'язкість і вміст у суміші (%) компонента А; v_2, G_2 – в'язкість і вміст у суміші (%) компонента Б.

Коефіцієнт K знаходять за табл. 1.11.

Таблиця 1.11

Значення коефіцієнта K

G_1	10	20	30	40	50	60	70	80	90
G_2	90	80	70	60	50	40	30	20	10
K	6,7	13,1	17,9	22,1	25,5	27,9	28,2	25,0	17,0

Аналогічного виду формулу використовують для розрахунків під час відновлення якості продуктів за температурою спалаху.

Як відзначалося вище, за умов використання олив відбуваються помітні (іноді й неприпустимі) зміни показників їх якості. Для запобігання або мінімізації погіршення якості продуктів важливим є прогнозування напряму глибини змін складу та властивостей олив. Точність прогнозу зміни якості залежить від повноти статистичної інформації, знання закономірностей процесів, що протікають, наявності експериментальних даних за результатами зберігання та використання олив за різних умов, обліку впливу зовнішніх факторів та інформації щодо вихідного хімічного складу та властивостей ММ. Прогноз може здійснюватися різними методами: екстраполяції, моделювання тощо.

Екстраполяція для динамічного прогнозування з урахуванням фактора часу показує, що зміна будь-якого показника якості (Π) оливи виражається регресійною функцією:

$$\Pi = a_0 + a_1\tau + a_2\tau^2 + \dots + a_n\tau^n,$$

де $a_0, a_1, a_2 \dots a_n$ – коефіцієнти, що визначаються експериментально.

Величина Π легко розраховується (якщо відомі коефіцієнти регресії) графічним, точковим способами, лінійним програмуванням та ін. Найпоширенішим вважається метод найменших квадратів.

Метод моделювання передбачає виконання експериментальної роботи з інтенсифікацією процесу зберігання або використання через підвищення температури, концентрації кисню, каталізу та інших факторів.

Так, наприклад, моделювання процесу окиснення з форсуванням температури дає можливість прогнозувати зміни показників якості, пов'язаних із окиснювальними перетвореннями вуглеводнів і неуглеводневих сполук олив. Швидкість ($w_{\text{по}}$) накопичення продуктів окиснення (смоля, осадів, кислот) у часі (τ) за температури (T) виражається формулами:

$$w_{\text{по}} = A e^{-E/RT},$$
$$dC / d\tau = kC_0 \text{ або } C = C_0 e^{k\tau},$$

звідки $k = (1/C) \ln (C_\tau / C_0)$, де C_0 – початкова концентрація продуктів окиснення.

Математичні моделі зміни показників якості олив під час зберігання та використання виражаються в основному рівняннями прямої, експоненти, параболи, гіперболи.

Для виявлення співвідношення олив, що необхідне для змішування з метою відновлення якості, можна використовувати формулу:

$$X = \frac{y-b}{a-b} 100,$$

де X – вміст продукту із «запасом» якості за показником, що відновлюється, % мас.; y – значення показника, що необхідно отримати; a – значення показника якості продукту, що має «запас» якості; b – значення показника некондиційного продукту.

Незначна частина ММ (10–20 %), що використовується під час експлуатації техніки, безповоротно втрачається на чад, випаровування, віднесення, протоки і витоки. Основна її частина (80–90 %) в умовах експлуатації зазнає істотні зміни складу й властивостей: від простого забруднення зовнішніми домішками та внутрішніми продуктами зносу до глибоких хімічних перетворень.

Утилізація відпрацьованих олив є важливою науково-технічною проблемою, тому що вони є техногенними відходами, що вкрай негативно впливають на усі об'єкти навколишнього середовища – атмосферу, ґрунт і води. Тільки забруднення вод відпрацьованими нафтовими олівами становить 20 % від загального техногенного забруднення, або 60 % від забруднення нафтопродуктами.

Захоронення й знищення відпрацьованих олив (в основному через спалювання) породжують часом ще більш складні екологічні проблеми, ніж самі відпрацьовані оливи, та являють собою істотну загрозу для біосфери.

Екологічно безпечна утилізація відпрацьованих олив припускає їх використання для одержання товарних продуктів всіякого призначення: пластичних мастил, МОТЗ, консерваційних ММ тощо. Основне місце у вирішенні проблеми займають відпрацьовані нафтові оливи, ресурси яких оцінюють приблизно в 50 % від споживання свіжих продуктів, при цьому відпрацьовані нафтові оливи становлять ~30 % усіх нафтових відходів. Одночасно із цим розвивається й техніка очищення й регенерації відпрацьованих синтетичних і рослинних олив.

Окрім зменшення кількості шкідливих викидів у довкілля, регенерація й повторне використання олив дозволить отримувати додатковий прибуток. За умов правильної організації процесу вартість відновлених олив буде на 40–70 % нижче за вартість свіжих олив за практично однакової їх якості. В індустріально розвинених країнах частка регенованих олив від загального обсягу їх виробництва складає близько 30 %.

Найважливішою проблемою є збір відпрацьованих олив. Зібрані відпрацьовані оливи (ВО) підрозділяють на групи: відпрацьовані моторні оливи (ВМО), відпрацьовані індустріальні оливи (ВІО) і суміші відпрацьованих нафтопродуктів (СВН). ВМО і ВІО використовують як сировину для регенерації й очищення, СВН переробляють на нафтопереробних заводах (НПЗ) у суміші із сировою нафтою. Можливість збору моторних й індустріальних олив становить до 20–40 %, трансформаторних – 80–90 % від обсягу відпрацьованих продуктів. Світовий збір СВН становить ~15 млн т/рік, при цьому переважна кількість (70–90 %) спалюється

як компонент палива. До тепер у більшості країн відсутній централізований збір СВН. У Європі збір СВН найбільш високий: ~56–58 % (до 1,6 млн т/рік), і використання їх як палива – 60 %.

Для утилізації СВН застосовують різні методи (рис. 1.9, 1.10, додаток 6, 7).

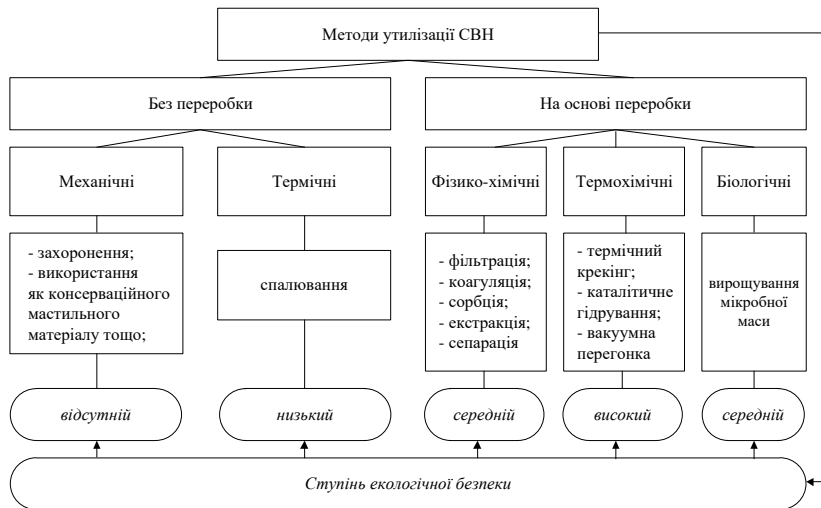


Рис. 1.9. Узагальнена структура методів утилізації СВН

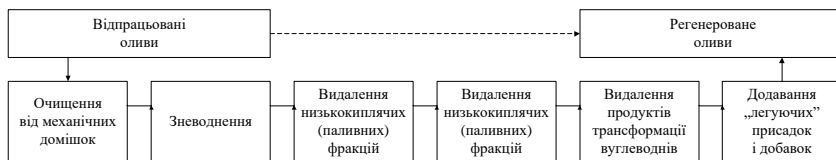


Рис. 1.10. Стадії процесу регенерації оливи

На сьогодні СВН піддають:

1) вторинному переробленню у вигляді сумішей, в основному нафтових оливи, іноді – з незначними домішками синтетичних оливи і МОТЗ, з одержанням базових компонентів;

2) роздільної регенерації за марками з одержанням оливи відповідного призначення. У цьому випадку здійснюють видалення

продуктів старіння й забруднень без руйнування й відділення присадок, що бракує, кількість яких додають на заключній стадії готування товарних олив;

3) переробленню сумішей відпрацьованих олив або очищенню окремих відпрацьованих продуктів з метою одержання пічного палива;

4) використанню як низькоякісного палива або компонентів інших нафтових палив.

Серед сучасних способів відновлення якості й регенерації ВО переважають фізичні методи – відстій, центрифугування, фільтрація, вакуумне сушіння. Можливе використання й більш складних фізико-хімічних методів (у випадку сильно забруднених або глибоко окиснених олив).

Вважають, що при річному обсязі споживання підприємством понад 10 тонн олив капітальні вкладення на очищення й регенерацію ВО на місці споживання повністю себе окупають.

Вторинне перероблення. У найбільших обсягах здійснюється перероблення СВН, що збирають централізовано на промислових підприємствах. Основними труднощами тут є організація збору сировини. У світі загальна частка базових олив, одержуваних вторинним переробленням СВН, не перевищує 5 % від споживання свіжих.

Значну частину СВН становлять моторні оливи, що містять в основному парафінові, нафтові й ароматичні вуглеводні, присадки, продукти старіння й метали. Серед різноманітних промислових процесів вторинного перероблення домінують наступні методи очищення: адсорбційне, екстракційне, гідроочищення, тонкоплівкове випаровування, ультрафільтрація.

Перероблення СВН і використання їх як палива одержали найбільшого поширення. За енергетичними характеристиками відпрацьовані оливи близькі до нафтових палив. Нижче наведені значення теплоти згорання (нижчої) низки продуктів, МДж/кг:

- мазути флотські й топкові – 40–42;
- відпрацьовані нафтові оливи (моторні) – 45;
- відпрацьовані синтетичні оливи на основі складних ефірів –

39;

- те ж, на основі поліалкеленгліколя – 23–26.

СВН застосовуються не за прямим призначенням, якщо вони не піддаються регенерації й переробленню. СВН можуть використовуватися для змащення грубих вузлів тертя, наприклад залізобетонних прес-форм; як реагенти при флотаційній обробці руди на збагачувальних фабриках; для запобігання змерзання й прилипания сипучих вантажів до стінок вагонів за низьких температур. Недолік такого використання СВН – можливість забруднення навколишнього середовища екологічно небезпечними продуктами.

Очищені СВН або базові оливи вторинного перероблення можуть застосовуватися у виробництві пластичних мастил як компонент дисперсійного середовища.

Очищення й регенерація синтетичних олиव у зв'язку з їх високою вартістю має особливо важливе значення. Крім того, низка синтетичних олив (поліхлордифеніли, складні ефіри фосфорної кислоти) становлять значну небезпеку для людини й навколишнього середовища. Частина відпрацьованих синтетичних олив неминуче попадає в СВН під час збору для вторинного перероблення й може негативно впливати на ефективність використовуваних процесів.

Способи регенерації відпрацьованих синтетичних олив вибирають залежно від їх хімічного складу, і, як правило, вони аналогічні тим, що використовуються під час регенерації нафтових олив: фільтрація, вакуумна перегонка, сірчистоокислотна, селективна, гідроочистка та ін..

Різноманітні процеси металообробки передбачають використання різноманітних асортиментів рідких МОТЗ (понад 100 найменувань). Їх частка від загального обсягу споживання ММ порівняно невелика (3–8 %). Останнім часом збільшується обсяг використання водних МОТЗ. Водозмішувані концентрати ММ перед вживанням розводять водою – вміст концентрату у кінцевому продукті становить у середньому 3 %. Це істотно збільшує реальну частку водних МОТЗ серед інших ММ – до 50 % відн., що може сприяти забрудненню навколишнього середовища.

Для очищення й регенерації МОТЗ використають складні схеми із використанням гравітаційних баків-відстійників, магнітних сепараторів і коагуляторів, гідроциклонів, різних конструкцій

фільтрів, флотаторів і піновідділювачів, коагулянтів і реагентів для осадження домішок і наступним введенням необхідних домішок.

Технологія вторинного перероблення СВН може включати вакуумну перегонку відпрацьованих олив (дозволяє одержувати оливу колишнього рівня якості – базове або сировина для виробництва технічних продуктів), лужну нейтралізацію, промивання нейтралізованої оливи водою й адсорбційним очищенням. Необхідний окремих збір біорозщеплювальних рідин, щоб зберегти високий рівень їх експлуатаційних властивостей.

Відпрацьована ріпакова та інші рослинні оливи можна використати як паливо, у тому числі у суміші з відпрацьованими нафтовими оливами. Можлива конверсія (переетерифікація) у складні метилові ефіри, використовувані як дизельне паливо («біодизель»).

Найбільш ефективним методом утилізації ВО є регенерація – вторинне їх перероблення з метою повного відновлення їх первинних властивостей з подальшим використанням за прямим призначенням.

Під час вивчення аспектів перероблення ВО у технічній літературі використовують різні терміни – очищення (відновлення якості), регенерація, вторинне перероблення.

Під терміном очищення (відновлення якості) розуміють безперервне або періодичне очищення працюючого ММ у діючому обладнанні, здійсненого за допомогою відстійників, фільтрів, центрифуг і адсорбентів.

До методів відновлення якості відпрацьованих олив відносяться такі, за яких не торкаючись хімічної природи олив, видаляють лише механічні домішки, тобто пісок, частинки металу, воду, смолисті, асфальтоподібні, коксоподібні і вуглецеві речовини, а також паливо.

Термін регенерація відноситься до відновлення якості індивідуальної, повністю відпрацьованої оливи до рівня товарної (свіжої). Для проведення регенерації застосовують більш важкі фізичні та хімічні процеси – коагуляцію, сірчаноокислотну й адсорбційну очистку (рис. 1.11).

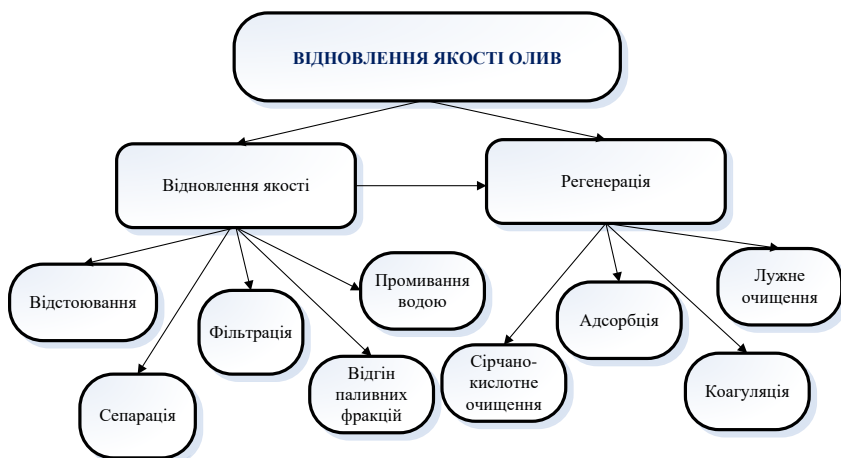


Рис. 1.11. Основні методи відновлення якості олив

Термін вторинне перероблення застосовують у випадку перероблення сумішей різних олив, що збирають централізовано із виробничих підприємств. З такої сировини можна отримувати базові оливи різного складу та призначення, а також розчинники та інші побічні продукти. Вторинне перероблення можлива лише на великих спеціалізованих підприємствах і передбачає застосування комплексу процесів – вакуумного перероблення, екстракції, гідроочистки.

Вихід готового продукту під час відновлення якості ВО складає 60–85 %, а під час регенерації – 66–92 %.

Система раціонального поводження з відпрацьованими нафтопродуктами почала розроблятися в 1942 р., коли проблема ПММ стояла дуже гостро. Ця система включала низку стандартів. Насамперед, це були: ГОСТ 2158 «Сбор и хранение отработанных масел», ГОСТ 1974 «Методы регенерации отработанных масел», ГОСТ 2516 «Физико-химические свойства отрегенированных масел». Згідно вимог ГОСТ 2516 перероблялось біля 70 % загального об'єму зібраних відпрацьованих олив.

З середини до кінця 70-х років збирання відпрацьованих нафтопродуктів було вже необов'язковим і реально складав біля 5 %

об'єму споживання товарних олиव. Однак з початку й до середини 80-х років система раціонального збирання відпрацьованих нафтопродуктів забезпечувала збирання біля 40 % об'єму споживання товарних олив. Україні було заплановано ввести в дію 2 установки по регенерації відпрацьованих олив – на Кременчуцькому НПЗ – 220 тис. т/рік і на Дрогобицькому НПЗ – 150 тис. т/рік. Як результат була реалізована одна – на Кременчуцькому НПЗ. Але в 1992 р. ця установка перестала працювати як регенераційна. А в 1993 р. була модернізована під виробництво товарних олив з сирої нафти.

У загальному випадку основні обсяги відпрацьованих олив накопичуються під час господарської діяльності, як підприємств, так і приватних осіб в таких галузях господарської діяльності:

- автомобільний транспорт (моторні: дизельні і карбюраторні оливи, трансмісійні оливи);
- залізничний транспорт (моторні дизельні оливи, змащення підшипників і коробок передач);
- авіаційний транспорт (моторні: дизельні та карбюраторні оливи, турбінні оливи та гідравлічні рідини);
- водний транспорт (моторні дизельні, циліндрові, турбінні оливи і гідравлічні рідини);
- промисловість (моторні: дизельні та карбюраторні оливи, турбінні, редукторні, компресорні, трансформаторні оливи та гідравлічні рідини);
- енергетика (турбінні, компресорні та трансформаторні оливи).

Україна щорічно споживає біля 400 тис. тонн олив. Найбільше зростає об'єм споживання моторних та трансмісійних олив, що пов'язано з ростом автомобільного парку. Одночасно зростає й об'єм відпрацьованих продуктів, що є надзвичайно шкідливими для довкілля. До того ж ММ, що містять продукти окиснення та механічні домішки, і за своїми властивостями вже не відповідають вимогам, що пред'явлені до них, повинні бути замінені свіжими матеріалами.

Наукові та технічні аспекти відновлення якості відпрацьованих нафтопродуктів протягом останніх 50–60 рр. розглядалися багатьма науковими центрами Європи, США і Канади.

Підраховано, що з 1 кг нафти можна отримати близько 100–150 г свіжої оливи, а з 1 кг відпрацьованої оливи – 500–800 г відновленого продукту, що не поступається за якістю свіжої товарної оливи.

На сьогодні запропоновано багато схем щодо відновлення якості оливи, що потім може бути використана повторно як свіжа олива або в суміші з нею. Вибір методу регенерації відпрацьованих олив визначається характером забруднень, що містяться в них, і продуктів старіння. Для одних олив достатньо простий – очищення від механічних домішок, для інших – необхідне глибоке перероблення, а іноді з використанням хімічних реагентів. Виконуватись вони мають у відповідності з вимогами ГОСТ 21046, Державному класифікатору відходів України ДК 005-96, Жовтим списком відходів.

Серед промислових методів вторинного перероблення необхідно виділити такі групи за основним способом очищення олив від продуктів старіння: 1) сірчистокислотна; 2) адсорбційна; 3) гідроочищення; 4) екстракційна; 5) тонкоплівкове випаровування. Okремо необхідно розглядати такі процеси: 6) «PROP» – з використанням хімічного способу деметалізації відпрацьованих олив і 7) «Рециклон» – з використанням для видалення продуктів старіння тонко диспергованого металічного натрію.

Перше місце у світі за кількістю діючих установок та об'єму переробленої сировини належить процесам з використанням сірчаної кислоти. До кінця 90-х рр. на них приходилось біля 80 % світового об'єму перероблення відпрацьованих олив.

Друге місце за об'ємом промислової експлуатації займають процеси з використанням адсорбційної очистки як основної стадії. Як сорбенти широко застосовуються активовані глини, вугілля, цеоліти тощо. У США до 55 % усіх базових олив вторинного перероблення отримують саме таким способом. Цей порівняно простий процес дозволяє отримувати базові оливи стабільної якості.

Досить перспективним процесом вторинної переробки відпрацьованих олив є тонкоплівкове випаровування, основними стадіями якого є атмосферно-вакуумна перегонка, вакуумне тонкоплівкове випаровування, гідроочистка і фракціонування.

Однак цей процес є досить дорогим з точки зору капітальних затрат.

Серед сучасних способів очищення та регенерації мають перевагу фізичні методи: відстоювання, центрифугування, фільтрація, вакуумне осушення. У випадках сильного забруднення або глибокого окиснення олив можливе застосування більш складних фізичних методів. Нерозчинні забруднюючі домішки видаляють осадженням, фільтруванням та центрифугуванням. Недисперговані грубі механічні домішки, наприклад, стружка у складі МОТЗ, шлам або вода, видаляють осадженням у відстійниках, що дозволяють відділяти чисту оливу від осаду. Видалення чистої оливи може бути прискорено під час її нагрівання до 50–60 °С, під час застосування сорбентів. Проте, розроблені схеми часто не забезпечують отримання достатньо чистої оливи, а ефективність адсорбції залежить від природи й характеру адсорбенту, від величини поверхні його пор.

Крім невисокого виходу оливи, традиційні технології очищення мають і інший суттєвий недолік – утворення важкоутилізованих і екологічно небезпечних відходів. Наприклад, під час очищення утворюється 50–360 кг відпрацьованого сорбента, а також до 200 кг важкоутилізованого кислого гудрона. Внаслідок вторинного перероблення ВО утворюється 200–300 кг/т стічних вод, що містять феноли, меркаптани та інші шкідливі речовини.

Під час виробництва базових олив застосовуються фізичні, хімічні та фізико-хімічні процеси регулювання складу: деасфальтизація, селективне очищення, депарафінізація розчинниками, гідродочистення. Під час одержання товарних олив у базові оливи додають до 5–10 % мас. присадок: антиокиснювальних, в'язкісних, депресорних, протиспрацювальних, протизадирних, мийнодиспергувальних, протипінних або додають пакети (композиції) присадок. Масштаби використання цих процесів на різних НПЗ відрізняються залежно від конкретних економічних, екологічних та інших умов підприємства.

Питання для самостійної роботи

1. Опишіть технологію та способи одержання моторних олів.
2. У чому полягає особливість виробництва базових олів? Наведіть узагальнену технологічну блок-схему виробництва базових олів.
3. Який хімічний склад оливої сировини ви знаєте?
4. Охарактеризуйте поділ базових олів за фракційним складом.
5. Наведіть загальну класифікацію базових олів. Опишіть Деталізовану технологічну схему виробництва базових олів.
6. Опишіть узагальнену інтегровану блок-схему технологічних етапів виробництва базових і товарних олів.
7. Охарактеризуйте класифікацію базових олів за API 1509;
8. Охарактеризуйте синтетичні моторні оливи та їх класифікацію за DIN 51502.
9. У чому полягає особливість класифікації олів різних типів? Наведіть класифікаційні типи олів.
10. Які фізико-хімічні показники моторних олів Ви знаєте?
11. Які експлуатаційні показники моторних олів Ви знаєте?
12. Прокоментуйте схильність до піноутворення та схильність до механічної деструкції моторних олів.
13. Які показники якості характеризують стійкість моторних олів до окиснення?
14. Які показники якості характеризують безпечність використання моторних олів?
15. Які показники якості якості моторних олів характеризують їх токсичність?
16. Наведіть класифікацію моторних олів за API.
17. Охарактеризуйте класифікацію моторних олів за ACEA.
18. Охарактеризуйте класифікацію моторних олів за ILSAC;
19. Як змінюються властивості моторних олів під час їх використання?
20. Які Ви знаєте присадки для моторних олів? Опишіть їх вплив на властивості моторних олів.
21. Опишіть способи очищення (регенерації) відпрацьованих моторних олів.
22. Опишіть способи відновлення якості некондиційних моторних олів.
23. Які Ви знаєте методи утилізації відпрацьованих моторних олів?
24. Опишіть стадії процесу регенерації моторних олів.
25. Охарактеризуйте терміни «регенерація», «відновлення якості», «очищення», «утилізація», «вторинне перероблення».

РОЗДІЛ 2

ВЛАСТИВОСТІ ТА ЯКІСТЬ ТУРБІННИХ ОЛИВ

Турбінні оливи в основному застосовуються для змащування та охолодження підшипників і механізмів управління та регулювання, а також різних турбоагрегатів: парових і газових турбін, гідротурбін, турбокомпресорних машин. Ці ж оливи використовують як робочі рідини у системах регулювання турбоагрегатів, а також у циркуляційних і гідравлічних системах різних промислових механізмів.

2.1. Загальна характеристика, технічні вимоги, функції та призначення

Базові турбінні оливи одержують з використанням екстракції та гідрування. За допомогою очищення та подальшого гідроочищення під високим тиском покращують функціональні властивості олив, такі як окиснювальна стабільність, водовідділення, деаерація та піноутворення.

Для забезпечення безперебійної та нормальної роботи турбін і обладнання важливою умовою є правильний вибір в'язкості турбінної оливи. Вона повинна бути достатньо в'язкою, щоб утворювати плівку гідродинамічного змащування; водночас шар плівки повинен бути достатньо тонким для ефективного охолодження. Окрім того, в'язкість турбінної оливи у процесі роботи повинна бути постійною та не змінюватися залежно від температури, тому важливо вибрати турбінну оливу з високим ІВ.

Турбінні оливи повинні мати добру **стабільність проти окиснення** під час експлуатації, оскільки будь-яке окиснення з утворенням корозійно-активних органічних кислот і продуктів в осадах зменшують довговічність роботи турбіни. Перелічені експлуатаційні властивості досягаються використанням високоякісних нафт, застосуванням глибокого очищення селективними розчинниками під час перероблення та введенням композицій присадок, що поліпшують антиокиснювальні,

антикорозійні, а у деяких випадках протизношувальні властивості олив.

Також турбінні оливи повинні добре відділяти воду, що може проникати в оливу під час роботи в системі, тим самим захищати поверхню сталевих деталей від іржавіння. Для цього додають до складу оливи деемульгуючі та антикорозійні присадки.

Важливою технічною вимогою, що висувають до турбінних олив є їх **протипінні** характеристики та здатність швидко вивільнятися від поглинутого повітря. Для цього в оливу вводять протипінні присадки, однак до їх вибору треба відноситися обережно, щоб присадка не перешкождала швидкому виділенню з оливи поглинутого повітря. З цього випливає, що до турбінних олив висуваються жорсткі технічні вимоги.

За основним функціональним призначенням турбінні оливи виконують **функції**, що цілеспрямовано забезпечують у системах змащування та управління турбін такі хімотологічні процеси:

- гідроднамічний режим змащування всіх вузлів тертя;
- розсіювання тепла;
- функціональність рідини для контурів управління та безпеки;
- попереджування виникнення зношування ніжок зубців у коробках передач турбін під час ударних режимів роботи турбін.

Для забезпечення таких умов експлуатації обладнання турбінні оливи повинні задовольняти комплексу технічних вимог:

- стійкість до старіння за умов довготривалого використання;
- висока гідролітична стабільність (особливо при використанні присадок);
- високі антикорозійні властивості;
- добре водовідділення;
- швидке деаерування та низьке піноутворення;
- добра фільтрованість;
- високий ступінь чистоти;
- низьку токсичність.

Зі збільшенням потужності турбін, а також підвищенням їх ККД збільшується кількість відпрацьованих турбінних олив. На

сьогодні виробники обладнання висувають все вищі вимоги до експлуатаційних властивостей олив. Щодо факторів, що необхідно враховувати під час оцінення навантаження на турбінні оливи, потрібно звернути увагу на параметри робочої зони, в якій розміщена турбіна, а також робочий цикл і періодичність технічного обслуговування.

Виконання технічних вимог забезпечують якісною характеристикою турбінних олив, що визначається наступними показниками їх якості:

1. Кінематична в'язкість за температур 40 і 100 °С;
2. Індекс в'язкості;
3. Кислотне число;
4. Стабільність проти окиснення – за температури 130 °С впродовж 16 год і витраті оливи 5 дм³/год, а також за температури 150 °С впродовж 24 год і витраті оливи 3 дм³/год;
5. Час деемульсації;
6. Корозійна дія на сталь;
7. Температура спалаху, визначена у відкритому тиглі;
8. Температура застигання;
9. Вміст водорозчинних кислот і лугів;
10. Масова частка сірки;
11. Масова частка механічних домішок;
12. Масова частка води;
13. Колір на колориметрі ЦНТ;
14. Густина за температури 15 °С;
15. Окиснювальні характеристики: осад після 1000 год окиснення та кислотне число після 2000 год випробування;
16. Клас чистоти.

2.2. Класифікація турбінних олив

Гармонізовану класифікацію турбінних олив за ДСТУ 4226, ISO 6743-5 та ISO 8068 наведено в табл. 2.12–2.15

Турбінні оливи також класифікують за складом (табл. 2.16) та призначенням (табл. 2.17).

Класифікація турбінних олив за призначенням

Група ISO-L	Загальне призначення	Склад і властивості	Галузь призначення
5TSA	Парові та газові турбіни	Високоочищена нафтова олива з антиокиснювальною та антикорозійною присадками	Виробництво електроенергії, індустриальні приводи та їх відповідні системи управління. Морські приводи, де не потрібна їх поліпшена несуча здатність для зубчастих передач
TGA	Газові турбіни без зубчастих передач або з ними	Високоочищена нафтова олива з антиокиснювальною та антикорозійною присадками	Виробництво електроенергії, промислові приводи та суміжні системи регулювання. Морські приводи, де не потрібна поліпшена несуча здатність для зубчастих передач
TGB	Газові турбіни із зубчастими передачами	Високоочищені нафтові оливи або синтетичні базові компоненти з присадками проти окиснення та корозії	Виробництво електроенергії, промислові приводи та сполучені системи регулювання з вимогами високих температур
TSE	Турбозубчастий агрегат	Високоочищена нафтова олива з антиокиснювальною, антикорозійною присадками	Виробництво електроенергії, промислові приводи та сполучені системи регулювання з вимогами поліпшеної несучої здатності

Продовження табл. 2.12

<p>TGE</p>	<p>Газові турбіни з зубчастими передачами або без них</p>	<p>Високоочищена нафтова олива з високими властивостями проти іржі, зі стабільністю проти окиснення</p>	<p>Виробництво електроенергії, промислові та морські приводи із зубчастими передачами та сполучені системи регулювання з вимогами поліпшеної несучої здатності</p>
<p>TGSB (TSA+TGB)</p>	<p>Газові турбіни із зубчастими передачами.</p>	<p>Високоочищені нафтові оливи з антиокиснювальною та антикорозійною присадками</p>	<p>Генерування електроенергії та індустріальні приводи, а також їх системи управління, де потрібна висока температурна стійкість оливи на окремих ділянках</p>
<p>TGF та TGSE</p>	<p>Газові турбіни без посередньо з'єднані або із зубчастими передачами</p>	<p>Високоочищені нафтові оливи або синтетичні базові компоненти з антиокиснювальною та антикорозійною присадками</p>	<p>Генерування електроенергії та індустріальні приводи, а також їх системи управління, де потрібна високотемпературна стійкість оливи на окремих ділянках</p>
<p>TSC</p>	<p>Турбозубчастий агрегат</p>	<p>Синтетичні рідини без спеціальних вогнестійких властивостей</p>	<p>Виробництво електроенергії, промислові приводи та їх сполучені системи регулювання зі спеціальними вимогами стабільності проти окиснення, з низькотемпературними властивостями</p>

Продовження табл. 2.12

TSD	Турбозубчастий агрегат	ММ на основі ефіру фосфорної кислоти	Виробництво електроенергії, промислові приводи та їх сполучені системи регулювання з вимогою стійкості до вогню
TGC	Турбозубчастий агрегат	Синтетичні рідини без особливих вогнестійких властивостей	Виробництво електроенергії, промислові приводи та їх сполучені системи регулювання зі спеціальними вимогами стабільності проти окиснення, низькотемпературними властивостями
TGD	Турбозубчастий агрегат	ММ на основі ефіру фосфорної кислоти	Виробництво електроенергії, промислові приводи та їх сполучені системи регулювання з вимогою стійкості до вогню
TCD	Система регулювання	ММ на основі ефіру фосфорної кислоти з відповідними присадками	Регулювальні механізми парових, газових і гідравлічних турбін, де подання рідини здійснюється окремо від ММ і вимагається вогнестійка рідина
TGCH	Газова турбіна	Олива на основі синтетичних ПАО з антиокиснювальною та антикорозійною присадками	Газова турбіна для високих температур залежно від рецептури синтетичних базових олів

Закінчення табл. 2.12

TGCE	Газова турбіна	ММ на основі синтетичних ефірів з антиокиснювальною та антикорозійною присадками	Газова турбіна для високих температур, що використовуються в модифікованих авіаційних турбінах
TNA/TNE	Підшипники	ММ на основі нафтових олів з антиокиснювальною (TNA), антикорозійною та додатковими присадками (TNE)	Підшипники (нормальні та упорні), турбіни, що працюють у режимі граничного / змішаного змащування під час запуску турбіни
TNCE	Турбіна з екологічно прийнятною рідиною	Оливи на основі синтетичних складних ефірів з відповідними присадками, крім присадки для поліпшення ІВ	

Таблиця 2.13

Класифікація турбінних олів за DIN 51515

Характеристика	Нормальні турбінні оливи, турбінні оливи для парових турбін	Високотемпературні турбінні оливи
Без протизадирних присадок	DIN 51 515-1	DIN 51 515-2
З протизадирними присадками	DIN 51 515-1	DIN 51 515-2
FZG (щабель навантаження не менше 8)	Додаток А	Додаток А

Таблиця 2.14

**Класифікація турбінних олив за ISO 6743.5
у поєднанні з ISO/D8068**

Характеристика	Нормальні турбінні оливи	Високотемпературні турбінні оливи
Без протизадирних присадок	ISO-L-TSA (пар) ISO-L-TG4 (Тга)	ISO-L-TGB (газ) ISO-L-TGSB (= TGA + TGB якість)
З протизадирними присадками FZG (щабель навантаження не менше 8)	ISO-L-TSE (пар) ISO-L-TGE (газ)	ISO-L-TGF ISO-L-TGSE

Таблиця 2.15

**Класифікація олив для турбін за ISO 6743-5
разом з ISO/CD 8068**

Загальні значення	Склад і властивості	Символ ISO-L	Типове застосування
1) Парові турбіни безпосередньо з'єднані або з зубчастими передачами для навантаження в нормальних умовах 2) Базові турбіни безпосередньо з'єднані, або з зубчастими передачами для навантаження, в нормальних умовах	Очищені мінеральні оливи з відповідними антиоксидантами та інгібіторами корозії	TSA TGA	Генерування електроенергії й індустриальні приводи та їх відповідні системи управління, суднові приводи, їх поліпшена несуча здатність не потрібна для зубчастого зчеплення

Закінчення табл. 2.15

<p>3) Парові турбіни, безпосередньо з'єднані або з зубчастими передачами для навантаження, висока несуча здатність</p> <p>4) Газові турбіни, безпосередньо з'єднані або з зубчастими передачами для навантаження, висока несуча здатність</p>	<p>Очищені мінеральні оливи з відповідними антиоксидантами та інгібіторами корозії, з додатковими протизадирними характеристиками для змащення зубчастих передач</p>	<p>TSF</p> <p>TGF</p>	<p>Генерування електроенергії та індустриальні приводи та їх відповідні системи управління, де для зубчастих передач потрібна покращена несуча здатність</p>
<p>5) Газові турбіни, безпосередньо пов'язані або з зубчастими передачами для навантаження, більш висока несуча здатність</p>	<p>Очищені мінеральні оливи з відповідними антиоксидантами та інгібіторами корозії – для більш високих температур</p>	<p>TGB TGSB (= TSA + TGB)</p>	<p>Генерування електроенергії та індустриальні приводи та їх відповідні системи управління, де потрібно високотемпературна стійкість через високі температури на окремих ділянках</p>
<p>6) Інші ММ (відповідно до ISO 6749-5 і ISO/CD 8068): а) TSC – синтетичні рідини для турбін без специфічних вогнестійких властивостей (наприклад, ПАТ); б) TSD – синтетичні рідини для парових турбін на базі складних ефірів фосфорної кислоти з вогнестійкими властивостями (складний ефір алкілфосфатів); в) TGC – синтетичні рідини для газових турбін без специфічних вогнестійких властивостей (наприклад, ПАТ); г) TGD – синтетичні рідини для газових турбін на базі складних ефірів фосфорної кислоти з вогнестійкими властивостями (складний ефір алкілфосфатів); д) TCD – синтетичні рідини систем управління на базі складних ефірів фосфорної кислоти з вогнестійкими властивостями</p>			

Таблиця 2.16

**Класифікація турбінних олиव за ISO 6743.5
у поєднанні з ISO/CD 8068**

Наявність присадок	Звичайні турбінні оливи	Високотемпературні турбінні оливи
Без протизадирних присадок	ISO-L-TSA (пара) ISO-L-TG 4 (газ)	ISO-L-TGB (газ) ISO-L-TGSB (=TGA + TGB якість)
З протизадирними присадками	ISO-L-TSE (пара) ISO-L-TGE (газ)	ISO-L-TGF ISO-L-TGSE

Таблиця 2.17

**Класифікація олив для турбін за ISO 6743.5
у поєднанні з ISO/CD 8068**

Загальне призначення	Склад і властивості	Символ ISO-L	Типове застосування
1) Парові турбіни безпосередньо з'єднані або з зубчастими передачами для навантаження за нормальних умов	Очищені мінеральні оливи з відповідними антиоксидантами та інгібіторами корозії	TSA	Генерування електроенергії та індустріальні приводи та їх відповідні системи керування, суднові прилади, їх покращена несуча здатність не потрібна для зубчастого зчеплення
2) Базові турбіни безпосередньо з'єднані або з зубчастими передачами для навантаження за нормальних умов		TGA	

Закінчення табл. 2.17

3) Парові турбіни безпосередньо з'єднані або з зубчастими передачами для навантаження, висока несуча здатність	Очищені мінеральні оливи з відповідними антиоксидантами та інгібіторами корозії з додатковими протизадирними характеристиками для змащування зубчастих передач.	TSF	Генерування електроенергії та індустриальні приводи та їх відповідні системи керування, де для зубчастих передач потрібна покращена несуча здатність
4) Газові турбіни безпосередньо з'єднані або з зубчастими передачами для навантаження, висока несуча здатність		TGF	
5) Газові турбіни безпосередньо з'єднані або із зубчастими передачами для навантаження, підвищена несуча здатність	Очищені мінеральні оливи з відповідними антиоксидантами та інгібіторами корозії – для більш високих температур	TGB TGSB (=TSA + TGE)	Генерування електроенергії та індустриальні приводи та їх відповідні системи керування, де необхідна високотемпературна стійкість через високі температури на окремих ділянках
6) Інші MM (відповідно до ISO 6743.5 та ISO/CD 8068): TSC – синтетичні рідини для турбін без специфічних вогнестійких властивостей; TSD – синтетичні рідини для парових турбін на основі складних ефірів фосфорної кислоти з вогнестійкими властивостями; TGC – синтетичні рідини для газових турбін без специфічних вогнестійких властивостей; TGD – синтетичні рідини для газових турбін на основі складних ефірів фосфорної кислоти з вогнестійкими властивостями; TCD – синтетичні рідини систем керування на основі складних ефірів фосфорної кислоти з вогнестійкими властивостями.			

У класифікації нафтових базових олив (групи I–II) враховуються три параметри: вміст насичених вуглеводнів і сірки, а також ІВ. Дана класифікація подана в табл. 2.18. Відповідно, до групи I відносяться високов'язкі оливи, одержані методом селективного очищення селективними розчинниками, до групи II – гідрогенізовані оливи або оливи, одержані за допомогою гідрокрекінгу (вміст сірки < 300 ppm), до групи III – тільки високов'язкі оливи, одержані за жорстких умов проведення процесу гідрокрекінгу і/або ізомеризації парафінів (ІВ > 120, концентрація сірки < 300 ppm).

Таблиця 2.18

Класифікація базових мінеральних олив за API

Група	Вимоги до якості оливи	Вміст, % мас.		ІВ	Технологія виробництва
		насичених вуглеводнів	сірки		
I	Сучасні	< 90	> 0,03	80–120	Традиційне (селективне) очищення
II	Перспективні	≥ 90	≤ 0,03	80–120	Жорстке гідрооблагородження та селективне очищення
III	Те саме	≥ 90	≤ 0,03	> 120	Гідрокрекінг і гідроізомеризація

На сьогодні, використовуючи мінеральні базові оливи групи II замість групи I, можна добитися суттєвого поліпшення окиснювальної стабільності турбінних олив, оскільки в них є менший вміст ароматичних сполук, що легко окиснюються. Однак в оливах групи II зменшений вміст сірки, що може бути вторинним інгібітором окиснення. Окиснювальну стійкість суміші олив групи II можна покращити, додаючи до них сірковмісні вторинні інгібітори окиснення та оптимізовані комбінації ескранованих фенолів і діариламінів, що є первинними антиокиснювачами.

На тепер використання виробниками більш нових технологічних можливостей дозволяє продукувати базові оливи з

вищим ступенем очищення, завдяки цьому оливи II та III групи стали доступними. Перехід від оливок групи I до оливок груп II та III привів до значних змін в розробці рецептур на них. Використання деяких антиоксидантів, здатних суттєво покращити окиснювальну стабільність турбінних оливок групи II і III, стало результатом одержання нових марок цих оливок з набагато кращою окиснювальною стабільністю порівняно з оливами, одержаними за старими специфікаціями. На сьогодні диференціація оливок за показниками їх окиснювальної стабільності враховані та відображені в технічних специфікаціях (табл. 2.19).

Таблиця 2.19

**Якість турбінних оливок 32 класу в'язкості (ISO 3448-75)
за показниками, що визначають стабільність**

Найменування показника	Марка оливи		
	Тп-22С марка 1	Тп-22СУ	Тп-22Б
Індекс в'язкості, не нижче	95	95	95 (до 105)
Вміст вуглецю в ароматичних кільцях C_A , %	5,0–8,0	5,2	3,0–5,5
Вміст сірки, %, не більше	0,5	0,5	0,45
Тривалість окиснення за ГОСТ 982, витраті кисню 3 дм ³ /год, години	16	18	24
Окиснення за ISO 4263-1 (ASTM D 943)			
Час досягнення кислотного числа 2 мг КОН/г, не менше	2000	3500	5000
Час гарантійної відсутності осаду, не менше	1000	2000	2000

2.3. Властивості та якість турбінних оливок

Для турбінних агрегатів виготовляються оливи марок Т22, Т36, Т46, Т57, Тп-22, Тп-30, Тп-46, Тп-22С, Тп-22Б, Тп-30, Тп-46, Т₂₂, Т₃₀, Т₄₆, Т₅₇. Олива для суднових газових турбін. Якісна характеристика турбінних оливок марки Тп подається в табл. 2.20.

Олива Тп-22С марки 1 – найбільш поширена і застосовується на АЕС, ТЕС, у високо обертових парових турбінах, у відцентрових і турбокомпресорах. Як базовий компонент використовують індустріальну оливу марки «И-20А». Олива Тп-22С марки 1 відмінна від марки 2 наявністю додаткової деактивуючої присадки.

Оливу Тп-22Б застосовують для парових турбін, суднових паросилових установок з важконавантаженими редукторами та допоміжних механізмів. Ця олива порівняно з Тп-22С має вищі антиокиснювальні властивості, більший термін служби, меншу схильність до осадоутворення під час роботи обладнання. Тому її застосування найдоцільніше в турбокомпресорах аміачних виробництв. Для забезпечення необхідних експлуатаційних властивостей у ці дві оливи додають композиції присадок, до складу яких входять інгібітор окиснення Агідол-1 (не менше 0,8 % мас.), інгібітор корозії В-15/41 (не менше 0,02 % мас.), деемульгатора Д-157 (не менше 0,02 % мас.). Окрім цих, композиція присадок для олив Тп-22Б і Тп-22С марки 1 мають деактивуючу присадку БЕТОЛ-1 або ІРГАМЕТ-30 (39) (не менше 0,02 % мас.).

Таблиця 2.20

Якісна характеристика турбінних олив

Найменування показника	Норма для оливи				
	Тп-22С		Тп-22Б	Тп-30	Тп-46
	Марка 1	Марка 2			
В'язкість кінематична, мм ² /с: за температури 40 °С, у межах за температури 50 °С, у межах	28,8–35,2 20,0–23,0		28,8–35,2 20,0–23,0	– 41,4–50,6	– 61,2–74,8
Індекс в'язкості, не менше	95	90	95	95	90
Кислотне число, мг КОН на г	0,04–0,07		≤ 0,07	≤ 0,5	≤ 0,5
Стабільність проти окиснення, не більше					
а) за температури 130 °С, 24 год і витраті кисню 5 дм ³ /год.					
- масова частка осаду, %, мас.	–	0,005	–	–	–
- кислотне число, мг КОН/г	–	0,1	–	–	–
- вміст летких низькомолекулярних кислот, мг КОН/г	–	0,02	–	–	–

Закінчення табл. 2.20

б) за температури 150 °С, 16 год і витраті кисню 3 дм ³ /год. - масова частка осаду, %, мас. - кислотне число, мг КОН/г - вміст летких низькомолекулярних кислот, мг КОН/г	0,01 0,15 0,15	– – –	– – –	0,01 0,5 –	0,01 – 0,7
в) за температури 150 °С, 24 год і витраті кисню 3 дм ³ /год. - масова частка осаду, %, мас. - кислотне число, мг КОН/г - вміст летких низькомолекулярних кислот, мг КОН/г	– – –	– – –	0,01 0,15 0,15	– – –	– – –
Час деемульгування, с, не більше	180		180	210	180
Корозія на сталевих стрижнях	відсутність				
Температура спалаху, визначена у відкритому тиглі, °С, не нижче	186		185	190	220
Температура застигання, °С, не вище	мінус 15		мінус 15	мінус 10	мінус 10
Масова частка сірки, %, не більше	0,5		0,45	0,8	1,1
Вміст водорозчинних кислот та лугів	відсутність				
рН водяної витяжки	6,0–8,5		–	–	–
Масова частка механічних домішок, %, не більше	0,005		0,005	відсутність	
Колір на колориметрі ЦНТ, одиниць ЦНТ, не більше	1,5	2,5	2,0	2,5	5,5
Масова частка води, %	відсутність				
Густина за температури 15 °С, кг/м ³ , не більше	903		–	895	895

Оливу Тп-30 застосовують у гідротурбінах, деяких турбо- і відцентрових компресорах. До оливи додають антиокиснювальну, антикорозійну, протизношувальну, антипінну та деемульгуючу присадки.

Оливу Тп-46 використовується в основному в суднових турбінах і насосному обладнанні.

Оливу Тп-32Р – в компресорах газоперекачувальних станцій.

Олива Т₂₂ має таке саме застосування, як і оливи Тп-22Б і Тп-22С.

Оливу Т₃₀ застосовують для гідротурбін, низькооберткових парових турбін, турбо- і відцентрових компресорах, що працюють з високообертковими навантаженими редукторами.

Олива Т₄₆ застосовується у суднових паротурбінних установках (турбозубчастих агрегатах) та інших допоміжних суднових механізмах з гідروприводом.

Вогнестійкі турбінні оливи на основі трикселенілфосфатів (арилфосфатів) застосовуються в основному в системах регулювання парових турбін.

Інгібовані турбінні оливи. На компресорних станціях для захисту від хімічної та електрохімічної корозії використовують турбінну оливу Тп-32Р з поліпшеними антиокиснювальними, мастильними та антикорозійними властивостями.

Оливи для суднових газових турбін (табл. 2.21) виготовляють з трансформаторної оливи з додаванням протизадірної та антиокиснювальної присадок. Їх призначення змащування та охолодження редукторів і підшипників суднових газових турбін.

Таблиця 2.21

Якісна характеристика оливи для суднових газових турбін

Найменування показника	Норма
В'язкість кінематична, мм ² /с: - за температури 50 °С; - за температури 20 °С, не більше	7,0–9,6 30
Кислотне число, мг КОН/г, не більше	0,02
Температура, °С: - спалаху, визначена у закритому тиглі не нижче - застигання, не вище	135 мінус 45
Зольність, %, не більше	0,005
Стабільність проти окиснення: - масова частка осаду після окиснення, %, не більше - кислотне число, мг КОН/г, не більше	0,2 0,65

Вимоги до якості турбінних олів, що використовуються в умовах високих температур встановлює DIN 51515, наведено в табл. 2.22. Типові вимоги олів для парових турбін за DIN 51515 ілюструє табл. 2.23. А загальні вимоги до якості, що встановлюють провідні виробники турбінних олів у світі наведено у табл. 2.24.

Таблиця 2.22

Вимоги до якості високотемпературних турбінних олів за вимогами DIN 51 515

Група олів	Граничні значення		Випробування відповідно с ²⁾	Порівняно з ISO стандартами
	TG 32	TG 46		
Клас в'язкості за ISO	TSOV C 32	TSOV C 46	DIN 51 519	ISO 3448
Кінематична в'язкість ¹⁾ : за температури 40 °С,	28,8–35,2	41,4–50,6	DIN 51 550 у відповідності з DIN 51 561 або DIN 51 562-1	ISO 3104
Температура спалаху (в закритому тиглі), мінімальна, °С	160	185	DIN ISO 2592	ISO 2592
Деаераційні властивості ⁴⁾ за температури 50 °С, максимальні, хв.	5	5	DIN 51 381	–
Густина за $t = 15$ °С, min, г/мл	Має вказати постачальник		DIN 51 757	ISO 3675
Температура застигання, max, °С	≤ мінус 6		DIN ISO 3016	ISO 3016
Кислотне число, мг КОН/г	Має вказати постачальник		DIN 51 558-1	ISO/DIS 6618
Зола (оксидна зола), % мас.	Має вказати постачальник		DIN EN 7	ISO 6245
Вміст води, максимальне, мг/кг	150		DIN 51 777-1	ISO/DIS 12937
Рівень чистоти, мінімальний	20/17/14		DIN ISO 5884 з DIN SO 4406	ISO 5884 с ISO 4406

Закінчення табл. 2.22

Піна:			
Ступінь I за 24 °С, тах, мл	450/0		ISO 6247
Ступінь II за 93 °С, тах, мл	100/0		
Ступінь III за 24 °С після 93 °С, тах, м;	450/0		
Деемульгованість, хв	Має вказати постачальник	DIN 51 599	ASTM D 1401
Водовідділення (після обробки парою), тах, с	300	300	DIN 51 589, частина 1
Мідна корозія, тах	2–125/43	DIN 51 759	ISO 2160
Захист сталі від корозії. Корозійна агресивність, тах	0–А	DIN 51 585	ISO/DIS 7120
Стійкість до корозії ³⁾	3,000	DIN 51 587	ISO 4263
Час в годинах до досягнення дельта NZ 2,0 мг КОН/г			ASTM D 2272
RBOT, хв	≥ 800*		
Модифікований ⁴⁾ RBOT, % часу хв в немодифікованому методі випробування	≥ 85 %		

* General Electric рекомендує тільки 450 хв.

1) Середня в'язкість за температури 40 °С в мм²/с.

2) Зразок оливи повинен зберігатися без контакту зі світлом перед випробуванням.

3) Випробування на стійкість до окиснення має виконуватися за типовою методикою, в зв'язку з тривалістю випробування.

4) Температура випробування становить 25 °С і повинна бути вказана постачальником, якщо споживачеві потрібні значення за низьких температур.

Додаток А (нормативний для турбінних олив з протизадирними присадками).

Якщо постачальник турбінної оливи також постачає набір турбінних зубчастих передач, то олива повинна витримувати мінімум восьму сходинку навантаження за DIN 51 345, частина 1 і частина 2 (FZG).

Таблиця 2.23

Вимоги до якості олив для парових турбін за DIN 51 515

Випробування	Граничні значення				Випробування відповідно ²⁾	Можна порівняти з ISO стандартами
Група олив	TD 32	TD 46	TD 68	TD 100		
Клас в'язкості за ISO ¹⁾	ISO VG32	ISO VG46	ISO VG68	ISO VG100	DIN 51 519	ISO 3448
Кінематична в'язкість: за $t = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$					DIN 51 562-1 або DIN 51 562-2 або DIN EN ISO 3104	ISO 3104
min, мм ² /с	28,8	41,4	61,2	90,0 110		
max, мм ² /с	35,2	50,6	74,8	110		
Температура спалаху, min, °C	160	185	205	215	DIN ISO 2592	ISO 2592
Деаераційні властивості ⁴⁾ за $t = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ max, хв.	5	5	6	Не нормується	DIN 51 381	—
Густина за $t = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$, max, г/мл	Має вказати постачальник				DIN 51 757 або DIN EN ISO 3675	ISO 3675
Температура застигання, max, °C	мінус 6	мінус 6	мінус 6	мінус 6	DIN ISO 3016	ISO 3016
Кислотне число, мг КОН/г	Має вказати постачальник				DIN 51558, частина 1	ISO 6618
Зольність (оксидна зола), % мас.	Має вказати постачальник				DIN EN ISO 6245	ISO 6245

Продовження табл. 2.23

Вміст води, max, мг/кг	150				DIN 51 777-1	ISO/DIS 12 937
Рівень чистоти, min	20/17/14				DIN ISO 5884c DIN ISO 4406	ISO 5884, с ISO 4406
Водовідділення (після оброблення паром), max, с	300	300	300	300	4 51 589, частина 1	—
Мідна корозія, max корозійна агресивність (3 год за $t = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$)	2–100 A3				DIN EN ISO 2160	ISO 2160
Захист від корозії сталі, max	Відсутність іржі				DIN 51 585	ISO 7120
Стійкість до окиснення (TOST) ³ . Час (год) до досягнення дельта NZ, 2,0 мг KOH/г	2000	2000	1500	1000	DIN 51 587	ISO 4263
Піна:						
Ступінь I за $t = 24\text{ }^{\circ}\text{C}$, max, мл	450/0				—	ISO 6247
Ступінь II за $t = 93\text{ }^{\circ}\text{C}$, max, мл	100/0				—	ISO 6247

Ступінь III за $t = 24\text{ }^{\circ}\text{C}$ після $93\text{ }^{\circ}\text{C}$, тах, мл	450/0	—	ISO 6247
<p>1) Середня в'язкість за температури $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ в $\text{мм}^2/\text{с}$.</p> <p>2) Зразок оливи повинен зберігатися без контакту зі світлом перед випробуванням.</p> <p>3) Випробування на стійкість до окиснення має проводитися за типовою методикою TOST у зв'язку з тривалістю випробування. TOST – метод випробування нафти та споріднених продуктів. Вивчення старіння інгіброваних олив і рідин. Процедура для мінеральних олив.</p> <p>4) Температура випробування становить $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ і повинна бути вказана постачальником якщо споживачеві потрібні значення за низьких температур. Додаток А (нормативний) для турбінних олив з протизадирними присадками. Якщо постачальник турбінної оливи також постачає набір турбінних зубчастих передач, то олива повинна витримувати мінімум восьму сходинку навантаження за DIN 51 345, частина 1 і частина 2 (FZG).</p>			

Як зазначалося вище, якість турбінних олив регулюють додаванням присадок, що наведені в табл. 2.24.

Антиоксиданти зменшують руйнуючу дію кисню на турбінні оливи та кількість шкідливих продуктів окиснення, що утворюються, зокрема, корозійних органічних кислот і нерозчинного шлаку. У турбінних оливах часто використовують синергічні суміші екранованих фенолів і діариламінів. Молекули цих речовин діють як донори атому водню для утворених в процесі окиснення хімічно активних проміжних пероксидних радикалів, чим переривають ланцюгову реакцію, що б за їх відсутності зачепила би інші молекули оливи. Антиоксиданти – нейтралізуючі пероксидні радикали, називають первинними. Застосування легких антиокислювачів зазвичай уникають, оскільки вони можуть вичерпуватися у процесі роботи.

Антиоксиданти іншого типу запобігають окисненню, розкладаючи хімічно активні проміжні гідропероксиди на менш активні сполуки. Без них гідропероксиди розкладались би до активних радикалів, сприяючи поширенню процесів окиснення.

Таблиця 2.24

Основні вимоги до якості турбінних олиив з боку провідних світових виробників

Найменування показника	Siemens TLV901 304 ¹⁾	General Electric GEK 101 941A	General Electric GEK32 568 E	Alstom HTGD 90717	Alstom HTGD 90117	Випробування за стандартами DIN ISO	Випробування за стандартами ASTM
«Оливи для парових і газових турбін»	«Оливи для газових турбін з протизадирними/противошувальними присадками з температурами вище 260 °C ²⁾ »	«Оливи для газових турбін з температурую підвищеними вище 260 °C ³⁾ »	«Оливи для парових і газових турбін з і без протизадирних і протизношувальних присадок ISO VG 32/46 ⁴⁾ »	«Оливи для парових і газових турбін з і без протизадирних і протизношувальних присадок ISO VG 68 ⁴⁾ »	«Оливи для парових і газових турбін з і без протизадирних і протизношувальних присадок ISO VG 68 ⁴⁾ »	Випробування за стандартами ASTM	Випробування за стандартами ASTM
Кінематична в'язкість за температури 40 °C, мм ² /с	28,8–35,2	28,8–35,2	28,8–35,2	VG 32: +10 % VG 46: +10%	VG 68: ±10 %	DIN 51 562-1	ASTM D 445
ISO VG	—	29–33,5	29–33,5	—	—	—	ASTM D 287
Густина (API °)	—	—	—	—	—	—	—

Продовження табл. 2.23

Деаераційні властивості за $t = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$, хв	≤ 4	5 (max)	5 (max)	< 4	< 7	DIN 51 381	ASTM D 3427
Кислотне число, мг КОН/г без EP/AW присадок з EP/AW присадками	$\leq 0,2$ $\leq 0,3$	0,2 (max)	0,2 (max)	0,2 (max) 0,3 (max)	0,2 (max) 0,3 (max)	DIN51 558-1	ASTM D 974
Вміст води, мг/кг	≤ 100	—	—	—	—	DIN 51 777-1	ASTM D 892
Водовідділення, с	< 300	—	—	≤ 300	≤ 300	DIN 51 589-1	
Деємультіваність, хв.	≤ 20	—	—	< 30	≤ 30	DIN51 599	ASTM D 1401
Густина за $t = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$, кг/м ³	≤ 900	—	—	—	≤ 900	DIN 51 757	ASTM D 1298
Температура спалаху							
ISO VG 32, $^{\circ}\text{C}$	> 160	215(min)	215(min)	VG 32 і 46 ≥ 200	VG 68: ≥ 205	DIN ISO 2592	ASTM D 92
ISO VG 46, $^{\circ}\text{C}$	> 185						

Продовження табл. 2.23

Температура застигання, °С	< мінус 6	мінус 12 (max)	мінус 12 (max)	< мінус 9	< мінус 6	ISO 30 16	ASTM D 97
Розподіл час-ток (ISO клас)	≤ 17/14	—	—	18/15	18/15	ISO 4406	—
Колір	≤ 2	2,0 (max)	2,0 (max)	—	—	DIN ISO 2049	ASTM D1500
Мідна корозія, корозійна агресивність	< 2–100 А3	1 В (max)	1 В (max)	≤ 2–100 А3	< 2–100 А3	DIN EN ISO 2160	—
Корозійна агресивність	0–В	0–В	0–В	0–В	—	DIN 51 585	ASTM D 665
Стійкість до старіння	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0	1	1	DIN 51 587	ASTM D 943
Збільшення кислотності в мг КОН/гр після 1 год випробувань за методом TOST**	(після 2500 г)	(після 2500 г)	(після 3000 г)	(після 2000 г) *	(після 2000 г) *	ISO 4263	—

Продовження табл. 2.23

Додаткові вимого- ги до турбінних олив для засто- сування в короб- ках передач, метод FZG: A/8.3/90 ступінь відмови	≥ 8	≥ 8	—	8	8	DIN 51 354	ASTM D 1947
Коксivність за Ремсботтом, %	—	0,1 % (max) (або еквiвалент)	0,1 % (max) (або еквiвалент)	—	—	—	ASTM D 524
Стійкість до окиснення, хв.	—	500 (min)	500 (min)	> 300 (min)	> 300 (min)	—	ASTM D 2272
Стійкість до окиснення (модифікованої РВОТ с N ₂ продуванням)	—	85% (min)	85% (min)	—	—	—	ASTM D 2272
Індекс в'язкості	—	95 (min)	95 (min)	≥ 90	≥ 90	—	ASTM D 2270

Вміст цинку	—	< 5 ppm	—	< 5 ppm	< 5 ppm	—	ASTM D 4951
Фільтрованість				Ступінь I, мінімум 93 %	Ступінь I, мінімум 93 %	—	—
				Ступінь I, мінімум 93 %	—	ISO 13 357-2	—
<p>1) Мінеральні оливи або синтетичні оливи з присадками для підвищення антикорозійних властивостей і стійкості до старіння (додатково EP/AW присадки в разі змашування коробки передач);</p> <p>2) Нафтова олива – синтетичні вуглеводні з більшою високотемпературною окиснювальною стабільністю та R & O інгібітор EP/AW присадки;</p> <p>3) Нафтова олива – синтетичні вуглеводні з більшою високотемпературною окиснювальною стабільністю та R & O інгібіторами;</p> <p>4) Очищена мінеральна олива: з присадками – в основному інгібіторами старіння та корозії (без EP/AW присадок).</p> <p>Інші важливі специфікації: Westinghouse I.L. 1250-5312 – Парові турбіни; 21 T 0591 – Газові турбіни Solar ES 9-224 – Газові турбіни;</p> <p>* Кислопне число < 1,8 мг КОН/г; шлам < 0,4 % за DP 7624.</p> <p>* TOST – Метод випробування нафти та споріднених продуктів. Вивчення старіння інгібованих олиив і рідин. Процедура для мінеральних олиив.</p>							

Такі антиоксиданти називають вторинними й до них відносяться тіоефіри, діалкілдитіофосфати цинку (ДАДТФЦ), діалкілдитіо-карбамати цинку та органічні фосфати.

Таблиця 2.24

Присадки до турбінних олів

Призначення	Хімічний тип присадок	Методи випробування
Антиоксиданти	Діариламіни, екрановані феноли, органічні сульфідні	ASTM D 943 , стандартний метод визначення характеристик окиснення інгібованих мінеральних олів ASTM D 2272 , стандартний метод визначення окиснення паротурбінних олів у герметизованій місткості, що обертається ASTM D 4310 , стандартний метод визначення схильності інгібованих мінеральних олів до корозії та утворення шлаків ASTM D 6186 , стандартний метод визначення періоду індукції окиснення олів диференціальною скануючою калориметрією високого тиску (ДСКВД)
Інгібітори іржавіння	Похідні алкенілбурштинової кислоти, етоксильовані феноли, похідні імідазоліну	ASTM D 665 , стандартний метод визначення протикорозійних характеристик інгібованої мінеральної оливи у присутності води
Інгібітори піноутворення	Полідиметилсилоксани, поліакрилати	ASTM D 892 , стандартний метод визначення піноутворюючих характеристик мастильних олів
Деактиватори металів	Триазоли, бензотриазоли, 2-меркаптобензотриазоли, похідні толілтриазолу	ASTM D 4172 , стандартний метод визначення корозії міді під впливом нафтопродуктів за потускнінням мідної пластинки

Закінчення табл. 2.24

Протизношувально-протизадирні присадки	Ефіри та солі алкілфосфорних кислот	ASTM D 4172 , стандартний метод визначення протизношувальних характеристик мастильних рідин (Метод визначення на чотири кульковій машині) ASTM D 5182 , стандартний метод оцінки граничної несучої здатності оливо до утворення задирання (візуальний метод)
Деемульгатори	Поліалкоксильовані сполуки: феноли, поліоли, поліаміни	ASTM D 1401 , стандартний метод визначення водовідділюючих властивостей мінеральних оливо і синтетичних рідин

Розробники промислових оливо часто використовують синергічну взаємодію між екранованими фенолами та діарил-амінами, а також між первинними та вторинними антиоксидантовачами. Окрім того, виробниками антиоксидантів розроблені присадки, молекули яких поєднують в собі фенольну та тіоефірні групи, що можуть діяти водночас як первинні, так і вторинні антиоксиданти.

Інгібітори іржавіння. Турбінні оливи повинні запобігати іржавінню в зоні контакту, для уникнення цього, в них додають протикорозійні присадки. Протикорозійні присадки мають полярну природу і вибірково утворюють на металевих і сталевих поверхнях водонепроникні плівки. Вони не повинні легко вимиватися водою, що захоплюється циркулюючою оливою, а також погіршувати інші необхідні експлуатаційні властивості: наприклад, стійкість до піноутворення або водовідділюючу здатність. Типи інгібіторів іржавіння, що застосовуються для турбінних оливо надано в табл. 2.24.

У разі забруднення деяких типів турбінних оливо іншими промисловими оливами, що містять металоорганічні присадки, можливі проблеми несумісності з інгібіторами іржавіння. Взаємодія між кислотними інгібіторами іржавіння турбінної оливи та металовмісними протизношувальними присадками, наприклад,

гідралічної рідини, може у деяких випадках призвести до утворення нерозчинних солей, здатних закупорювати фільтри. Аналогічна ситуація може виникнути у разі, коли неповністю змие консерваційне мастило з вмістом сульфонатів металів.

Протипінні присадки додають в турбінні оливи для стримування їх схильності до спінювання, одним з методів визначення якої є метод ASTM D 892. Протипінні присадки лише частково розчинні в оливі, утворюють дисперсії дрібних крапель з низьким коефіцієнтом міжфазового натягу, що прискорюють коалесценцію пухирців повітря в оливі. Водночас, протипінні присадки не повинні погіршувати повітрєвідділювальних властивостей турбінної оливи, оскільки повітря, захоплене оливою, може збільшити його стискування і тим самим порушити роботу гідралічних систем або викликати інші проблеми.

Деактиватори металів запобігають корозії міді та її сплавів – бронзи і латуні. Вони вибірково адсорбуються на поверхні мідного сплаву і формують на ньому шар, що захищає від дії кислот, утворених під час окиснення оливи. У зворотному випадку вони діють як пасиватори та запобігають каталітичному впливу міді на процес окиснення оливи.

Деемульгатори сприяють відділенню води від оливи. Вони концентруються на межі розділення води та оливи, сприяючи злиттю крапель води чим прискорюють її відділення. Вода, що відділилася збирається в нижній частині оливного резервуару, звідки її можна злити.

Окрім загальних показників якості для турбінних олив є відмінні показники характерні тільки для них і відповідні методи визначення.

Характеристику піноутворення олив визначають згідно з ASTM D 892. Здатність оливи утворювати піну може бути серйозною проблемою в роботі турбіни. Піноутворення, наприклад, у гідросистемах може призвести до засмокування повітря та кавітації. При цьому за температури 24 °C 190 мл рідини поміщають у 1000 мл градуйований циліндр. У рідину з інтенсивністю 95 сс/хв протягом 5 хв подається повітря. Через 5 хв подача повітря припиняється та фіксується об'єм утвореної піни як «вихідний». Це свідчить про тенденцію до піноутворення.

Після 10 хв осідання піни її об'єм фіксується як «пінозгасаючий». Це показник стійкості піни. Це випробування проведене за кімнатної температури фіксують як цикл I.

Випробування повторюють на іншому зразку, нагрітому до (93,5 °C) і фіксується як цикл II. Цей зразок охолоджують до кімнатної температури (24 °C), а потім фіксується як цикл III.

Згідно з вимогами більшості специфікацій в кінці 5-ти хвилинного продування піна не повинна залишатися.

Деаерацію визначають за методом ASTM D 3427. Під час роботи промислового обладнання повітря може змішуватися зі змащувальним матеріалом утворюючи дисперсію дуже дрібних пухирців повітря в оливі. Через що може виникнути низка проблем. Пухирці повітря можуть спровокувати пористість і відсутність необхідного контролю в гідравлічних системах або турбінах, утворення несучільних оливних плівок у підшипниках або шестернях, що може призвести до механічних пошкоджень.

У даному випробуванні визначають початкову густину оливи. Потім через оливу протягом 7 хв продувають стиснуте повітря нагріте до температури 25, 50 або 75 °C. Після цього продування припиняють, а поплавков гідростатичних ваг знову опускають в оливу. Час, необхідний для того, щоб за густиною олива досягла вмісту повітря 0,2 % від загального обсягу, вважають часом відділення повітря. На виділення повітря впливає декілька факторів, зокрема, склад базової оливи, клас в'язкості та використувані присадки. Відповідно до основних технічних вимог максимальний час відділення повітря не повинен перевищувати 5 хв згідно з ISO 32, 7 хв за ISO 46 та 10 хв за ISO 68.

ASTM D 943 визначає окиснюваність турбінної оливи. Цей метод був розроблений для визначення терміну окиснення інгібованої турбінної оливи і набув широкого використання для протизношувальних гідравлічних олив, антикорозійних і стійких до окиснення олив, а також турбінних олив.

Під час визначення за цим методом зразок оливи нагрівають до температури 95 °C за присутності мідних і сталевих каталізаторів та води. Для прискорення процесу окиснення через зразок пропускають кисень. Періодично відбирають проби та визначають збільшення кислотного числа. Випробування припиняють, коли

кислотне число сягне 2,0 мг КОН. Результат виражається в годинах до 2,0 NNA. Інгібовані оливи можуть руйнуватися вже через 200 год, тоді як високоякісні турбінні оливи можуть працювати понад 10000 год.

ASTM D 2272 – метод випробування на окиснення в місткості високого тиску, що обертається.

Випробування на окиснення в місткості високого тиску, що обертається (RPVOT) – це швидкий спосіб для порівняння терміну окиснення різних ММ у аналогічних складах. Цим випробуванням визначають оцінку окиснювальної характеристики турбінних, гідравлічних, трансформаторних і трансмісійних олив.

Випробування передбачає осьове обертання місткості (балону) під кутом 30° від горизонталі в термостаті за температури 150 °С. Балон знаходиться під тиском 600 кПа за кімнатної температури. З підвищенням температури термостату тиск в місткості підвищується до 1300 кПа. Після окиснення оливи тиск падає, при цьому стан оливи під час падіння тиску від максимального до 166 кПа за 150 °С вважається бракувальним. Результати випробування виражаються у хвилинах, протягом яких тиск падає до 166 кПа.

RPVOT вважається кращим швидким методом випробування контролю якості, оскільки результат можна одержати вже за кілька годин, на відміну від ASTM D-943, за яким на результат треба чекати 1000 год або й більше. Методом RPVOT також можна визначити залишковий термін служби ММ.

Час зниження тиску до 166 кПа під час випробування звичайної турбінної або антикорозійної та антиокиснювальної олив повинен бути не менше 450 хв.

ASTM D 665 – випробування турбінних олив на антикорозійність. Вода, що може проникати в системи через конденсацію або ж забруднення та змішується з оливою, може викликати іржавіння приводів, підшипників або інших металевих поверхонь. Це випробування застосовується для прогнозування здатності інгібованих нафтових олив запобігати цьому типу іржавіння.

Випробування виконується за температури 70 °С. У склянци 300 мл оливи перемішують з 30 мл дистильованої або штучної

морської води. У суміш оливи з водою опускають свіжо відполірований сталевий прут і витримують 24 год. Після цього прут промивають розчинником і відзначають сліди іржавіння та її ступінь. Цей метод використовують в основному для специфікації нових олив і контролю їх під час використання. Для подальшого використання сталевому пруту його необхідно абсолютно очистити від іржі.

Випробування ASTM довели, що 4-х годинний термін випробування так само надійний, як стандартний 24-х годинний, і буде включений у випробування ASTM як альтернативний метод.

ASTM D 1401 – Метод визначення здатності нафтових і синтетичних олив відділяти воду (деемульгованість турбінної оливи), що може викликати багато проблем, зокрема, іржавіння, утворення емульсії та збільшення швидкості окиснення.

Для виконання випробування 40 мл оливи і 40 мл дистильованої води перемішують протягом 5-ти хв за 1500 об/хв. Після цього суміш відстоюють. Об'єм компонентів, що відділилися – оливи, води та емульсії – фіксують з 5-ти хвилинним інтервалами.

Метод був розроблений для вимірювання деемульгованості оливи в діапазоні в'язкості 28–90 мм²/с за температури 40 °С. У разі випробування оливи з більшою в'язкістю температуру випробування необхідно підвищити до 82 °С.

Згідно з вимогами специфікацій після 30 хв випробування повинно залишатися не більше 30 мл емульсії (манжета).

Аналіз олив залишається основним інструментом виявлення проблем, пов'язаних зі спрацюванням олив на ранніх стадіях. Класичним методом аналізу, за яким оцінюють глибину окиснення використаних турбінних олив, є визначення в'язкості, кислотного числа та окиснювальної стабільності.

Першою фізичною ознакою розкладення оливи є утворення малорозчинних продуктів розкладу, що спричиняють утворення лаків. Це – так звані м'які забруднювачі. Лакоутворення у змащувальних, гідравлічних та ізоляційних системах є гострою проблемою, що набуває щораз більшої актуальності.

Перша хімічна ознака розкладення оливи виявляється в результаті аналізу вмісту антиоксидантів двох основних класів:

ароматичних амінів і просторово утруднених фенолів, що визначаються методом вольтамперометрії.

Ефективним методом оцінки робочого стану оливи є прямий контроль окремих антиоксидантів, що формує загальне уявлення про характер розкладення оливи. Для визначення вмісту окремих антиоксидантів був розроблений метод RULER (ASTM D 6971), результати якого не залежать від наявності присадок інших типів.

Також ефективним методом контролю є ІК-Фур'є-спектрометрія (FTIR), яким в міру розкладення оливи визначають зміну в їх хімічному складі, зокрема, можна відстежити зменшення концентрації деяких антиоксидантів, особливо тих, що відносяться до класу фенолів. Як тільки антиоксиданти, що входять до складу оливи, починають витрачатися, першим фізичним результатом даного процесу є утворення речовин, що погано розчиняється в турбінній оливі. Інші методи, що дозволяють визначати субмікронні частки забруднювачів, – наприклад, гравіметричне визначення нерозчинних компонентів або використання ультрацентрифуги для відділення твердих забруднювачів від рідкої фази, – виявилися дуже перспективними.

Найширше застосовується метод колориметрії мембранного фільтру (МКМФ), що є відносно нескладним і його можна використовувати як в лабораторії, так і в польових умовах. Методи RULER і МКМФ доповнюють один одного і добре підходять для аналізу сучасних турбінних оливи.

Інші методи, що використовуються на практиці для аналізу турбінних оливи, систематизовані в табл. 2.25.

Таблиця 2.25

Методи аналізу якості турбінних оливи

В'язкість, ASTM D 445	В'язкість є важливою властивістю оливи та її рекомендовано визначати регулярно. Однак значні зміни в'язкості турбінних оливи спостерігаються дуже рідко.
Схильність до деемульсації, ASTM D 1401	Вкрай важлива характеристика оливи для парових і гідрургін. Якщо відділення води від турбінної оливи відбувається повільно, може статися катастрофічне пошкодження підшипників.

Схильність до деемульсації, ASTM D 1401	Крім того, якщо олива виявляє низьку схильність до деемульсації, то деякі агрегати призначені для вилучення води з оливної системи (наприклад, абсорбери) працюють менш ефективно та забезпечують доволі низький рівень безпеки роботи електростанції. Для більшості газотурбінних агрегатів схильність оливи до деемульсації не має великого значення.
Елементний аналіз, ASTM D 5185	Для більшості потужних парових і газових турбін не має особливого значення, оскільки метали зношування розподіляються у великому об'ємі рідини, що утруднює одержання стабільних результатів. Необхідно зважати на найменше підвищення концентрації металів зношування.
Кислотне число, ASTM D 974	Для більшості потужних парових і газових турбін не має особливої цінності. Коли кислотне число починає стрімко зростати, це означає, що в системі вже давно виникло багато інших проблем.
Вміст води, ASTM D 6304	Даний показник важливо контролювати в парових і гідроелектричних агрегатах. Для більшості газових турбін контроль вмісту води не має особливого значення
Клас чистоти, ISO 4406	Даний параметр дуже важливо контролювати для всіх типів турбінних олив
Температура спалаху, ASTM D 92	Цей метод має обмежене застосування в програмах моніторингу стану олив. Може мати цінність у разі виявлення основних причин несправності агрегатів.
Окиснювальна стабільність методом бомби, що обертається (RPVOT), ASTM D 2272	Метод актуальний для аналізу турбінних олив, що продукуються за старими специфікаціями, а також для оцінки робочого стану олив невідомого походження. Для більшості сучасних турбінних олив метод характеризується низькою повторюваністю та відтворюваністю результатів.

<p>Вольтамперометрія з лінійною розгорткою (RULER) ASTM D 6971</p>	<p>Цей метод є важливим для аналізу більшості турбінних оливо і дозволяє контролювати вміст окремих антиоксидантів. Серед інших компонентів оливо саме антиоксиданти першими піддаються термічному механічному навантаженню та слугують індикатором погіршення стану оливи вже на ранніх стадіях. Важливо мати в наявності контрольний зразок нової оливи, оскільки даний метод припускає порівняння зразків використаної та нової оливи.</p>
<p>ІК-спектрометрія (FTIR)</p>	<p>Даний метод є чудовим інструментом аналізу основних причин несправностей та являє цінність для визначення вмісту фенольних антиоксидантів, а також деяких інших типів присадок.</p>
<p>Схильність до піноутворення, ASTM D 892</p>	<p>Важливий параметр, що необхідно контролювати для більшості парових і газових турбін. Високе спінювання не завжди свідчить про проблеми в експлуатації. З іншого боку, механічні пошкодження можуть призвести до підвищеного утворення піни, навіть якщо олива знаходиться в доброму стані.</p>
<p>Схильність до деаерації, ASTM D 3427</p>	<p>Цей показник є вкрай важливим для деяких моделей турбін. Погане повітрівідділення може стати причиною неполадок під час пуску агрегатів, а також призвести до утворення пухирців повітря в гідравлічній системі. Для деяких інших типів турбін величина показника деаерації не має прямого впливу на експлуатаційні характеристики турбінної оливи, в цьому разі даний метод не має великої цінності. Для правильної інтерпретації даних щодо схильності оливи до деаерації необхідно проконсультуватися безпосередньо з виробниками обладнання.</p>
<p>Антикорозійні властивості, ASTM D 665</p>	<p>Висока корозійна активність свідчить про можливе забруднення і вимагає негайного з'ясування причин.</p>

Сумісність олив, ASTM D 7156	Перед змішуванням різних за складом турбінних олив, дуже важливо провести випробування на їх сумісність. Перед додаванням в систему оливи, відмінної за хімічною природою компонентів, необхідно проконсультуватися безпосередньо з постачальником оливи та з'ясувати чи виконувалися відповідні випробування на сумісність.
------------------------------------	--

Під час використання турбінних олив у обладнанні їх очищують від механічних домішок, шламу, дисперсної води наступними методами: відстоювання, грубого фільтрування на сітчастому фільтрі, відцентрового очищення або вакуумного осушування, тонкої фільтрації або електрофізичного очищення. Для тонкого очищення застосовують фільтри (об'ємної фільтрації) з номінальною величиною фільтрації не більше 25 мкм (оптимально 6–12 мкм).

Для очищення також використовується електрофізичний метод, що не вимагає використання високовартісних витратних матеріалів. Інтенсивне забруднення (залпове) турбінної оливи водою, механічними домішками, оливним шламом сприяє ризику виникнення пошкоджень обладнання та створення аварійних ситуацій.

Турбінні оливи необхідно заливати в оливосистеми, очистивши їх від осадів, шламу та ремонтних забруднень. Навіть незначне забруднення свіжої турбінної оливи шламом, що утворився під час експлуатації в оливосистемі, може в декілька разів скоротити строк служби оливи після заміни. Для очищення оливосистеми під час заміни турбінної оливи застосовуються гідродинамічні способи промивання. Теплообмінні апарати (оливоохолоджувачі) та сильно забруднені оливосистеми очищують, застосовуючи хімічне промивання водними розчинами технічних мийних засобів на лужній основі, що біологічно розкладаються.

Питання для самостійної роботи

1. Охарактеризуйте призначення, загальні вимоги та властивості турбінних олів.
2. Опишіть та охарактеризуйте функції та експлуатаційні властивості турбінних олів.
3. Охарактеризуйте технічні вимоги до турбінних олів.
4. Наведіть та охарактеризуйте показники якості турбінних олів.
5. Охарактеризуйте фізико-хімічні показники та показники безпеки турбінних олів.
6. Охарактеризуйте антикорозійну та захисну здатність турбінних олів, а також здатність до утворення відкладень.
7. Охарактеризуйте стійкість турбінних олів до окиснення.
8. Що впливає на показники прокачуваності турбінних олів?
9. Які показники якості характеризують токсичність турбінних олів?
10. Наведіть та охарактеризуйте асортимент присадок до турбінних олів та принцип їх дії.
11. Наведіть класифікацію турбінних олів за призначенням.
12. Наведіть класифікацію турбінних олів за DIN 51515.
13. Наведіть класифікацію турбінних олів за ISO 6743.5;
14. Охарактеризуйте особливості використання турбінних олів нового покоління.
15. Класифікація базових мінеральних олів за API.
16. Наведіть та охарактеризуйте методи аналізу якості турбінних олів.
17. Охарактеризуйте вимоги до якості турбінних олів з боку світових виробників.

РОЗДІЛ 3

СИСТЕМИ ЗМАЩУВАННЯ АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ

На сьогодні до оливи і оливних систем авіаційних двигунів висуваються дуже жорсткі вимоги. Необхідно забезпечити надійну роботу за будь-яких умов польоту на всіх режимах роботи двигуна ЛА за будь-якої експлуатаційної температури повітря; достатнє охолодження оливи; пожежовибухобезпечність; відділення від оливи газів, механічних домішок і води; виключення появи в системі повітряних пробок; надійний запуск двигуна за негативних температур зовнішнього повітря; простоту в обслуговуванні.

Авіаційна техніка висуває підвищені вимоги до якості ММ. Це пов'язано з тим, що авіадвигуни та їх агрегати відрізняються від наземних силових установок підвищеними теплонапруженістю та силовими навантаженнями. Крім того, до авіаційної техніки висуваються підвищені вимоги з експлуатаційної та хіммотологічної надійності. У зв'язку з цим авіаційна техніка вимагає вирішення багатьох проблем у процесах тертя й змащування, а також ММ.

У зв'язку з цим для забезпечення надійної роботи теплонапружених ГТД потрібні ефективні оливні системи (одна з таких оливних систем наведена на рис. 3.12), а також високоякісні оливи, що мають високі експлуатаційні властивості.

На сьогодні застосовуються дві принципові системи змащування ГТД:

– циркуляційна, де усі оливні порожнини є замкнутими. Олива використовується багаторазово для змащування та охолодження деталей, знову повертаючись до них після відкачування, відділення повітря, очищення й охолодження;

– нециркуляційна, де олива використовується одноразово. Після змащування та охолодження олива викидається в атмосферу через сопло, згораючи при цьому.

Нециркуляційна система змащування використовується в малоресурсних ГТД разового застосування (наприклад, крилаті ракети), в підйомних двигунах з короткочасним циклом роботи.

Останнім часом така система стала поширеною в конструкції мікро-ГТД. Ця схема найбільш проста, але має велику витрату оливи. Іноді в таких схемах замість оливи використовується гас, що одночасно є основним паливом.

Циркуляційна система складається з трьох підсистем: нагнітання, відкачування та суфлювання (рис. 3.12).

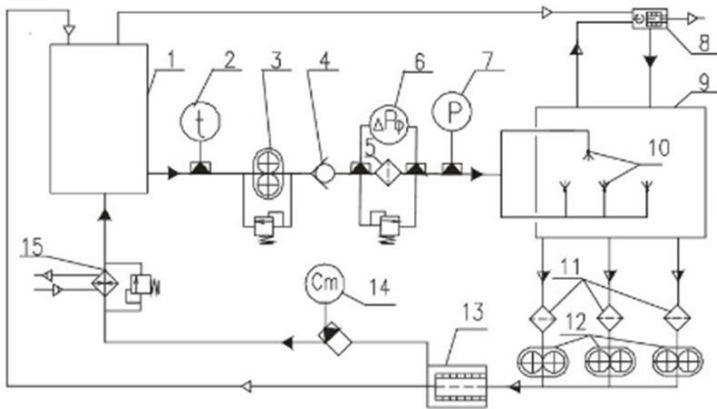


Рис. 3.12. Схема системи змащування ГТД:

- 1 – оливний бак; 2 – датчик температури; 3 – нагнітаючий насос (із редукційним клапаном); 4 – запірний клапан; 5 – фільтр (із перепускним клапаном); 6 – датчик сигналізації про забруднення фільтра; 7 – датчик тиску; 8 – суфлер-сепаратор; 9 – умовна оливна порожнина двигуна; 10 – форсунка; 11 – захисний фільтр; 12 – відкачувальний насос; 13 – відцентровий повітровідділювач; 14 – датчик сигналізації наявності металевої стружки; 15 – теплообмінник (з перепускним клапаном).
- (напрямок руху: \blacktriangleleft – повітря; \blacktriangleleft – оливи; \blacktriangleleft – оливо-повітряної суміші; \blacktriangleleft – охолоджуючої рідини)

Як видно з розгляду даної схеми, циркуляція оливи в замкнутому контурі здійснюється через оливний бак. Причому з двигуна олива повертається в оливобак після її охолодження в теплообміннику. Сепарація оливо-повітряної суміші здійснюється за допомогою приводного відцентрового повітро-відділювача (центрифуги). Таким чином для охолодження в теплообмінник надходить олива, що практично не містить повітря. Повітря з

оливного бака та з оливних порожнин двигуна по системі суфлювання після його очищення в суфлері від частинок оливи відводиться в атмосферу (зазвичай на зріз сопла). Таку схему масляної прийнято розглядати як класичну.

Під час роботи ГТД олива використовується не лише з метою зменшення тертя та зниження зношування поверхонь, що труться, але й для їх охолодження. Аналіз роботи ГТД, в яких застосовується так зване «змащування на викид» (відкрита оливна система), свідчить про те, що для змащування вузлів, що труться, досить відносно невеликої кількості оливи (~3–5 %) від тертя, що подається у вузол, при традиційній циркуляційній системі змащування. Крім того, під час роботи в ГТД олива виконує низку інших функцій: виносить абразивні частки зношування поверхонь, що труться, і окиснення оливи з вузла тертя, захищає поверхні двигуна, що контактують із оливою, від атмосферної корозії.

Найважливішими вузлами змащування в авіаційних ГТД є підшипникові опори трансмісії, деталі контактних ущільнень опор трансмісії, що труться, підшипники та шестерні центрального приводу й коробки приводів агрегатів. Наприклад, у турбо-вентиляторному двигуні (ТВД), олива, крім того, що змащує й охолоджує перевантажений редуктор, ще виконує іншу функцію – функцію робочої рідини в регулювальнику зворотів і кроку повітряного гвинта, а також в командно-паливних агрегатах.

У силових установах гелікоптерів олива змащує та охолоджує вузли тертя турбокомпресорної частини двигуна, вільної турбіни, редуктора несучого і рульового гвинтів.

Крім того, оливи, що застосовуються в ГТД, використовуються та для змащування агрегатів планера ЛА – коробок літальних агрегатів, гідроприводів, приводів постійних зворотів, електрогенераторів, турбостартерів, для змащування підшипників турбоохолодильників тощо.

Аналіз теплового балансу підшипникового вузла опори ротора ГТД свідчить про те, що основними джерелами тепла в опорі є тепловиділення через тертя в підшипниках і ущільненнях, зовнішній теплопідвід через стінки оливних порожнин, теплопідвід по валу двигуна, а також від повітря, проникаючого в оливні порожнини під час наддуву ущільнень.

У теплонапружених ГТД навіть на дозвукових швидкостях політ ЛА температура підшипників трансмісії та стінок оливних порожнин, що омивається оливою, часто перевищує 300 °С. Так, в двигуні Д-36 температура втулки контактної-кільцевого ущільнення шарикопідшипника компресора високого тиску на злітному режимі сягає 325 °С, температура стакана роликотпідшипників турбіни високого і низького тиску після зупинки двигуна підвищується до 340 °С, температура повітря на виході з відцентрового суфлера на злітному режимі складає 160 °С, а температура повітряно-оливної емульсії в порожнині підшипників роторів вентилятора та КНД – 187 °С.

Температура оливи на виході з сучасних теплонапружених ГТД цивільної авіації (ЦА) досягає 165 °С, а військової авіації – 200–225 °С.

Високий рівень температури оливи й деталей, контактуючих з оливою, може викликати істотні зміни фізико-хімічних і експлуатаційних властивостей оливи, утворення значної кількості відкладень продуктів її окиснення в оливосистемі двигунів. Це, у свою чергу, може призвести до забивання фільтрів тонкого очищення оливи й форсунок, що підводять оливу до деталей підшипникових вузлів опор ГТД, що труться.

Частота обертання валів трансмісії сучасних ГТД дуже велика. У двигуні ТВТ-1500Б, наприклад, максимальна частота обертання осьового компресора становить 43000 об/хв, а вільної турбіни – 24500 об/хв. Частота обертання вхідного валу редуктора ВР-14 гелікоптера «Ми-8МТ» досягає 15000 об/хв, а приводу рульового гвинта – 2600 об/хв.

Навантаження, що діють на поверхні деталей та вузлів ГТД, що труться, визначають надійність і довговічність їх роботи. Радіальні та осьові зусилля на підшипники трансмісії ГТД високі, особливо при еволюціях ЛА: осьові навантаження сягають 57860 Н, радіальні, – 54800 Н.

Контактна напруга в підшипниках авіаційних двигунів може досягати 2940 МПа. Контактна напруга стискування на зубах шестерень найбільш навантажених коробок приводів агрегатів різних двигунів знаходиться в межах 1225–1420 МПа.

Головний редуктор гелікоптера, як відомо, призначений для передавання крутного моменту від двох двигунів на несучий вал гвинта, і, через проміжний редуктор, на рульовий (хвостовий) гвинт.

Навантаження, що передаються редуктором, залежать від режимів роботи двигуна. Так, для редуктора ВР-14 потужність, що передається від двигуна, на злітному режимі може сягати 1543 МВт (2100 л.с.), на номінальному режимі – 1366 МВт (1860 л.с.), а на крейсерському – 1213 МВт (1650 л.с.). При цьому контактна напруга найбільш навантажених шестерень сателітів у цьому редукторі становить 1209, 1165 і 1125 МПа, відповідно.

Наведені дані за рівнем навантажень вказують на необхідність висування високих вимог до змащувальних властивостей оливо, що застосовуються на ГТД і редукторах гелікоптерів.

Експлуатація авіаційних ГТД відбувається за різних кліматичних умов. При цьому олива повинна забезпечувати надійний запуск двигуна за низьких температур навколишнього повітря. За технічними вимогами, надійний запуск двигуна повинен відбуватися за температури до мінус 40 °С (без підігрівання оливи), тобто олива повинна прокачуватися насосами за цих умов. Прокачуваність оливи до вузлів тертя за низьких температур, як відомо, визначається її в'язкісно-температурними властивостями. Для цього олива повинна мати пологую в'язкісно-температурну характеристику (слабку залежність в'язкості від температури), малі значення в'язкості за мінусових температур і низьку температуру застигання.

Під час роботи в авіаційному ГТД олива контактує з різними конструкційними матеріалами: легованими сталями, сплавами алюмінію, магнію, титану, міді (бронзи, латуні), всілякими покриттями на сталі та сплавах (фосфатування, кадміювання, сріблення і тому подібне), а також із матеріалами ущільнювачів.

Таким чином, оливи в авіаційних ГТД працюють у широкому діапазоні температур, на різних режимах тертя, високих навантаженнях і швидкостях відносного переміщення деталей, що труться, у контакті з різними конструкційними матеріалами, в умовах високої аерації.

Внаслідок цього до олив для авіаційних ГТД висуваються дуже жорсткі вимоги. Оливи для сучасних теплонапружених ГТД повинні мати: високу термоокиснювальну та термічну стабільність, гарні змащувальні та в'язкістно-температурні властивості, низьку агресивність щодо конструкційних матеріалів, низьку випаровуваність, високу температуру спалаху і самозаймання, мале спінювання, гарні захисні властивості, підвищену теплоємність тощо.

Оливи не повинні негативно впливати на матеріали ущільнювачів, не мати високу токсичність. Крім того, оливи повинні мати широку сировинну базу, вироблятися за доступною технологією, бути, за можливістю, дешевими.

Вивченням процесів тертя, зношування й змащування поверхонь, що труться, отриманням науково обґрунтованих уявлень про їх взаємодію та розроблення інженерних рішень – об'єкт і предмет трибології та хіммотології.

3.1. Оливні системи ГТД та їх основні агрегати

У ГТД основними агрегатами й вузлами тертя, для яких потрібне змащування, є кулькові та роликові підшипники турбокомпресорного агрегату, шестерні редуктора відбору потужності, шестерні приводу агрегатів, що працюють на високих обертах, шлицьові муфти валів, а в ТВД, крім того, шестерні редуктора. Уявлення про кількість змащуваних шестерень лише в приводі агрегатів ТРД із осьовим компресором ілюструє рис. 3.13.

Найжорсткіші вимоги до якості оливи, що застосовується, (пусковим і антиокиснювальним властивостям) висуває високообертовий турбокомпресор.

3.1.1. Структура оливосистеми та її функції

Олива зменшує тертя та зношування деталей і агрегатів, відводить від них тепло, запобігає появі корозії та задирання, видаляє тверді включення та частки, що потрапляють між деталями, що труться. У деяких ТРД олива є робочою рідиною (системи автоматики і регулювання) і застосовується в сервомеханізмах. Відповідно конструктивно виконані й оливні системи ГТД.

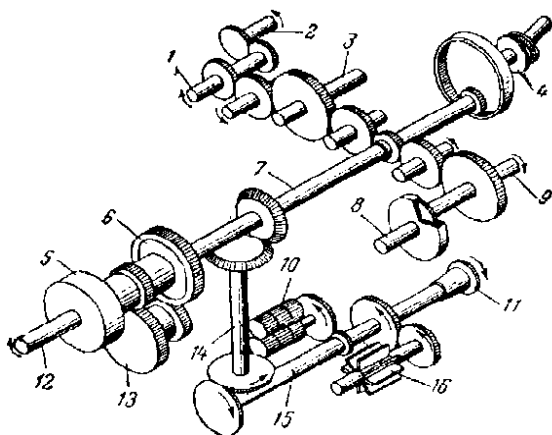


Рис. 3.13. Кінематична схема приводу ТВД з осьовим компресором:
 1 – привід підкачувального насоса; 2 – привід відцентрового клапана;
 3 – привід паливного насоса; 4 – привід гідронасоса; 5 – фрикційна муфта; 6 – роликів муфта; 7 – вал турбокомпресора; 8 – привід оливного агрегату; 9 – привід паливного насоса; 10 – оливний насос (що відкачує); 11 – сполучна муфта; 12 – привід стартера-генератора; 13 – храпова муфта; 14 – ресора; 15 – провідний валик; 16 – відцентровийсуфлер

Система змащування ГТД із невеликою витратою оливи, компактністю й малим гідравлічним опором повинна надійно забезпечувати змащування двигуна в будь-якому положенні ЛА і за будь-яких зовнішніх умов, до яких, в першу чергу, відносяться температура та тиск. Найбільш відповідальні та навантажені підшипники, а також зубчасті та шліцьові з'єднання мають примусове змащування під тиском, здійснюване за допомогою відцентрових або струменевих форсунок. Інші деталі, що труться, змащуються розбризуванням оливи, що потрапляє на деталі, що обертаються, і створює оливний туман.

Щоб скоротити тривалість перебування оливи в двигуні (з метою зменшення нагрівання, насичення повітрям, скорочення часу контакту з металами), оливосистеми ГТД працюють за принципом сухого картера: після змащування олива не накопичується у відстійниках корпусу двигуна, а відразу ж

відкачується в оливобак або в оливомагістраль для фільтрації, охолодження та інших операцій.

У сучасних ГТД, як зазначалося вище, застосовують циркуляційні замкнені (одноконтурні та двоконтурні), незамкнені та комбіновані системи змащування. Пристрій оливосистем значно впливає на граничну висоту польоту ЛА. Зі збільшенням висоти спінюваність оливи в оливосистемі зростає, при цьому продуктивність оливонасоса знижується, внаслідок чого тиск оливи в системі падає, і змащування двигуна порушується. Випробування показали, що в польотах на великих висотах надійніше циркуляційно-замкнута система змащування – вона забезпечує необхідне змащування двигуна до висоти 30 км і вище.

Найбільш економічна й конструктивно проста одноконтурна замкнена система змащування, де олива безперервно й багаторазово циркулює у замкненому контурі «бак-двигун-бак». Незамкнені системи змащування зазвичай застосовують на двигунах разового використання, в яких олива працює лише одноразово. Такі системи дуже прості, й олива в них після одноразового використання викидається в атмосферу. У високо-температурних ТРД у деяких випадках також застосовують незамкнені системи для змащування та охолодження найбільш напружених підшипників, де олива зазнає значних змін; після одноразового змащування вона також викидається з двигуна в атмосферу. Менш нагріті деталі й підшипники обслуговує звичайна замкнена система.

Незважаючи на різноманітність конструкцій ГТД, їх оливосистеми переважно типові та складаються з аналогічних за призначенням агрегатів.

Система змащування ГТД зазвичай включає такі елементи: оливобак, оливний теплообмінник, оливні насоси, оливофільтри, повітровідділювач, редукційні та замочні клапани, оливні форсунки, оливопровід і прилади контролю температури та тиску оливи. Типова схема замкненої системи змащування сучасних турбо-реактивних двигунів (ТРД) подана на рис. 3.12 вище.

У багатьох ГТД застосовують закриту замкнену систему змащування, в якій олива, оминувши оливний бак ЛА, циркулює по замкненому контуру. У цьому разі оливний бак призначений для

неперервного поповнення до норми кількості оливи в системі двигуна, що викликається проникненням оливи через лабиринтні ущільнення, віднесенням її через систему суфлювання, а також випаровуванням.

Наведений опис створює підґрунтя для уявлення про принципи роботи оливних систем і про способи очищення оливи, працюючої в двигуні (фільтрація, звільнення від повітря, охолодження тощо).

У процесі роботи у вузлах тертя та оливосистемі двигуна властивості оливи, що застосовується, змінюються. Про ці зміни (підвищенні в'язкості, погіршенні термоокиснювальної стабільності тощо) можна зробити висновок за станом окремих агрегатів оливосистеми без розбирання двигуна. Так, за спінуванням оливи можна зробити висновок щодо функціонування оливних насосів і створюваному ними тиску; чистота елементів оливофільтрів, що фільтрують, дає уявлення про міру окиснення працюючої оливи тощо.

Більш детально ці питання описані у спеціальній літературі.

3.1.2. Основні агрегати оливосистеми

Оливні насоси. Для подачі оливи під тиском до деталей, що труться, і відкачування від них оливи застосовують шестерні насоси, продуктивність яких досягає 350 л/хв. Оливний насос складається з нагнітальної і декількох секцій, що відкачують, причому останні повинні мати в 2–3 рази більшу продуктивність, ніж нагнітальні. Це пояснюється тим, що до відкачувальних секцій насосу підходить спінена олива, що має більший об'єм через вміст повітря. Продуктивність нагнітальних оливних насосів зазвичай у 2–3 рази більша, ніж потрібно, що необхідно для забезпечення нормальної подачі оливи до вузлів, що труться, на висоті, коли продуктивність насоса зменшується. У оливосистемах ГТД підтримується певний заданий тиск – від 0,35 до 0,5 МПа, що регулюється за допомогою встановленого в оливомагістралі редукційного клапана. Тому під час оцінки можливості спінування та випаровування оливи під час його роботи в двигуні необхідно розглядати не всю оливосистему й не оливомагістраль, а окремі

агрегати (наприклад, оливний бак) оливосистеми та ті деталі, для змащування яких олива подається розпорскуванням.

Оливні фільтри. Вони призначені для очищення оливи від шкідливих домішок і забруднень: часток металів (продуктів зношування деталей, що труться), бруду та смолистих речовин, а також твердих часток, що є продуктами глибокого окиснення оливи під час тривалої роботи в двигуні.

Практично за наявності на сітці фільтру відкладень можна зробити висновок не лише про протизношувальні властивості оливи, але й про її здатність протистояти окисненню.

Оливні фільтри є в нагнітаючих і у відкачуючих магістралях. У нагнітаючій магістралі фільтр низького тиску встановлюють до, а фільтр високого тиску – після насоса. У магістралі, що відкачує, фільтри також можна встановлювати до і після насоса. Схема оливного фільтру показана на рис. 3.14.

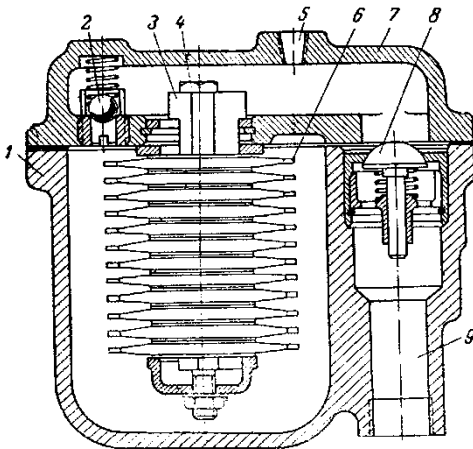


Рис. 3.14. Схема сітчасто-дискового оливного фільтру:

- 1 – корпус;
- 2 – запобіжний клапан;
- 3 – каркас;
- 4 – стяжний болт;
- 5 – місце для виміру тиску;
- 6 – фільтрувальні диски;
- 7 – кришка фільтру;
- 8 – замочний клапан;
- 9 – магістраль виходу оливи з фільтру

У ГТД найбільш поширені сітчасто-дискові фільтри; основний їх робочий орган – фільтруючі елементи-диски з латунного або сталевого дроту з кількістю комірок від 225 до 5000 на 1 см^2 . Диски розміщені на порожнистому каркасі.

Олива, що надходить у фільтр, заповнює кільцеву порожнину, розташовану довкола елемента, що фільтрує,

проходить через сітки, фільтрується і через каркас потрапляє в оливомагістраль. Відфільтровані домішки залишаються на поверхні сіток і можуть бути оцінені кількісно і якісно. Фільтруючий елемент зазвичай промивають у бензині. Його можна вийняти, знявши кришку фільтру і не зливаючи при цьому оливи.

Для запобігання пошкодження фільтруючої сітки, під час забивання оливного фільтру відкладеннями в ньому є запобіжний клапан. Допустимий тиск на фільтрі від 0,13 до 0,15 МПа.

Повітровідділювач. Цей агрегат є одним із основних у оливній системі ГТД. Він призначений для очищення оливи від газів.

Відомо, що спінена, насичена газами олива має великий об'єм; що зменшує продуктивність оливонасосів і тиск в оливосистемі і, в решті-решт, може порушити нормальне змащування деталей двигуна, що труться. Спінена олива має знижену теплопровідність і гірше відводить тепло від гарячих деталей. Крім того, вона погано охолоджується в радіаторі, внаслідок чого температура оливи може підвищитися, а це, у свою чергу, погіршить теплознімання з деталей двигуна.

У зв'язку з великою кількістю прокачуваної оливи й значним вмістом у ній газів повітровіддільник повинен мати велику продуктивність. Тому в ГТД доцільно застосовувати відцентрові повітровідділювачі.

Основним робочим елементом відцентрового повітровідділювача є розміщений у спеціальному корпусі з порожнинами ротор, що обертається та складається з валу з крильчаткою. Олива, що подається відкачуючим насосом через одну з порожнин корпусу надходить у середину ротора повітровідділювача та під дією відцентрової сили відкидається до периферії, звідки через іншу порожнину подається в оливопровід і потім – у оливний радіатор. Повітря, що відокремилася, з центру ротора через кільцеву порожнину прямує в повітряний простір оливобака. Схема типового відцентрового повітровідділювача показана на рис. 3.15.

Оливні форсунки. Олива дозується і подається в розпорошеному вигляді на підшипники турбокомпресорного агрегату в ГТД за допомогою відцентрових або струменевих форсунок. У відцентровій оливній форсунці олива під тиском нагнітаючого

насоса проходить через сітку та по гвинтовій канавці стержня розпилювача (де його струмінь закручується) потрапляє в калібрувальний отвір корпусу форсунки і розпилюється на підшипник. Недолік форсунок цього типу – насичення розпорошеної оливи повітрям, внаслідок чого погіршується відведення тепла від підшипника. Тому найбільше поширені прості за будовою струменеві форсунки, що являють собою трубку з отвором, що калібрується, діаметром 1–1,5 мм, із якого змащувальна олива під тиском у вигляді розпорошеного струменя падає на підшипник.

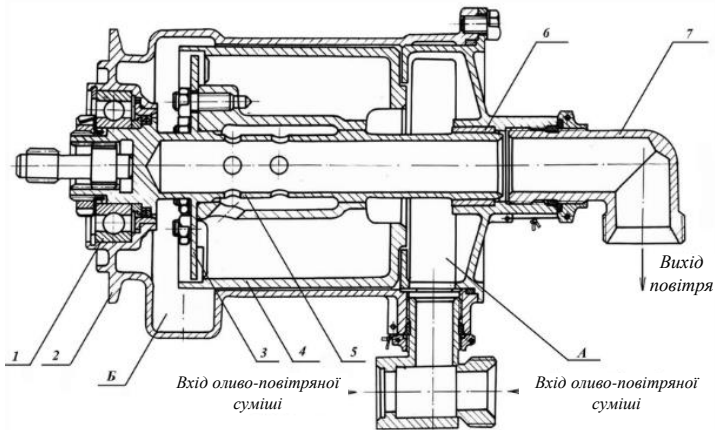


Рис. 3.15. Схема відцентрового повітровідділювача:

- 1 – радіально-упорний підшипник; 2 – корпус; 3 – розподільний диск;
 4 – крильчатка; 5 – вал; 6 – мідна ступка; 7 – патрубок відведення повітря;
 А – кільцева порожнина підведення оливо-повітряної суміші;
 Б – кільцевий колектор

Під час появи в оливі продуктів глибокого окиснення у вигляді м'яких і абразивних відкладень форсунки часто закоксовуються, внаслідок чого подача оливи на підшипник зменшується. Це може призвести до пригорання кульок або роликів підшипника, до виведення його з дії.

Перетікання оливи через форсунки, зняті після роботи двигуна, зазвичай перевіряється на спеціальних стендах, що прокачують; зниження перетікання оливи, порівняно з тим, що

допускається технічними умовами, свідчить про недостатню його термоокиснювальну стабільність. Схема підшипників форсунок, що використовуються для змащування показана на рис. 3.16.

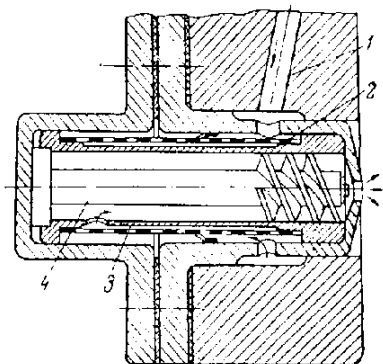


Рис. 3.16. Схема відцентрової оливної форсунки:
1 – канал; 2 – сітка; 3 – втулка;
4 – стрижень

Система суфлювання. Ця система являє собою пристрій, що сполучає повітряний простір оливного бака й оливних порожнин із атмосферою (рис. 3.17). Внаслідок несправності цієї системи втрати оливи можуть значно зрости.

Суфлювання двигуна необхідне для його нормальної роботи; за відсутності суфлювання нагрівання та випаровування оливи також прорив газів у оливні порожнини через лабіринтні ущільнення спричинить підвищення тиску в оливних порожнинах і оливному баку двигуна та може призвести до викиду оливи з системи. У сучасних ГТД оливні порожнини зазвичай сполучаються з атмосферою за допомогою суфлера, що є каналом із перегородками, що вільно пропускає повітря й пари оливи, але перешкоджає витіканню оливи.

На сьогодні поширені відцентрові суфлери, аналогічні за принципом роботи й пристроєм описаним вище відцентровим повітровідділювачам. Суміш повітря з парою оливи надходить із двигуна на крильчатку, що обертається; олива відцентровою силою відкидається на стінки корпусу суфлера й стікає по спеціальному різьбленню через жиклер у двигун. Повітря, що відокремилася, проходить під кришку суфлера та спеціальним каналом виводиться в атмосферу. Також відомі конструкції суфлерів радіального типу.

Такі суфлери набули поширення у зарубіжних конструкціях двигунів. При підвищеному суфлюванні двигуна або за нечіткого розділення пари оливи й повітря в суфлерові втрати оливи у вигляді пари зростають

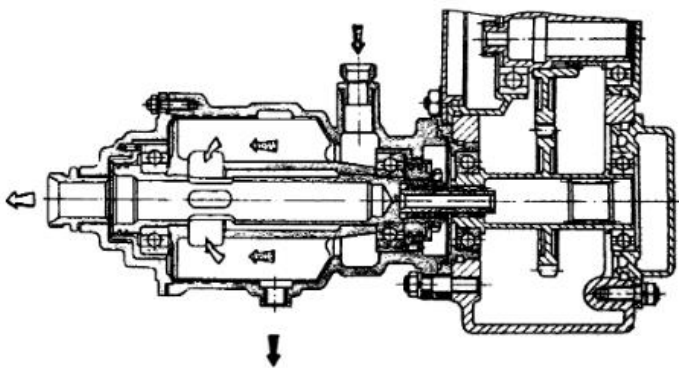


Рис. 3.17. Конструкція суфлера осьового типу

Відомі випадки збільшення на 40–60 % витрат оливи із 200-годинними стендовими випробуваннями через підвищене суфлювання двигуна. Тому за системою суфлювання двигуна необхідне ретельне спостереження.

3.2. Технічні вимоги до експлуатації систем змащування та олів для авіаційних двигунів

Працездатність оливи в ГТД залежить від багатьох чинників, пов'язаних із призначенням двигуна та умовами роботи оливи в ньому. До них відносяться: теплонапруженість двигуна, навантаження в опорах трансмісії й зубчастих передачах, конструктивні особливості оливосистеми, наявність зон перегріву оливи вище за допустиму температуру, тривалість контакту оливи з нагрітими до високих температур металевими поверхнями, рівень цих температур, конфігурація омиваних оливою поверхонь і способи їх теплоізоляції, кількість прокачуваної оливи через двигун в цілому та через опори трансмісії, тип і конструкція ущільнень вузлів

оливосистеми від газоповітряного тракту двигуна, температура та кількість повітря, що надходить в оливосистему через ущільнення, загальний об'єм циркулюючої в двигуні оливи та об'єм оливобака, умови зупинки двигуна тощо.

Тому для правильного вибору оливи для авіаційного ГТД необхідно знати велику кількість даних про двигун і умови роботи оливи в ньому. Ці дані регламентуються галузевими стандартами авіаційної промисловості, а ретельний аналіз цих даних і зіставлення їх з даними за однотипними серійними двигунами та досвіду їх експлуатації дозволяють формулювати раціональне рішення щодо правильний вибір оливи для двигуна, що розробляється (або модернізується).

Вибір оливи для авіаційних двигунів здійснюється розробником виробу з низки товарних олив відповідно до стандартів, що встановлюють номенклатуру й порядок призначення олив для виробів авіаційної техніки. Зазвичай для виробів авіаційної техніки призначаються дві марки олив – основна й дублююча. Вибрані марки олив вносяться в хімотологічну карту, що складається відповідно до ГОСТ 25549, в якому встановлений порядок складання та узгодження хімотологічної карти для виробів всіх галузей промисловості, що розробляються, модернізованих і серійних, з метою забезпечення технічно та економічно обґрунтованого призначення та раціонального використання ПММ. Хімотологічна карта є складовою частиною конструкторської документації.

Якщо жодна з товарних олив, рекомендованих для використання в авіаційних ГТД не задовольняє вимогам застосування в двигуні, що розробляється, постає питання про створення нової оливи.

Новий зразок оливи з метою уніфікації повинен замінювати зазвичай один або декілька товарних продуктів, а його виробництво і використання – забезпечувати техніко-економічний ефект порівняно з існуючими товарними олівами. У цьому випадку складаються вихідні технічні вимоги (ТВ) на розроблення нової оливи, що включають короткі дані за умовами роботи оливи в двигуні й нормовані показники якості оливи. Вимоги до якості нових олив встановлюються із врахуванням стандартів на

класифікацію (ДСТУ ISO 8681, ДСТУ 4128) і позначення (ДСТУ 4129, ГОСТ 17479.1-87–ГОСТ 17479.4-87) нафтопродуктів. Після оформлення в установленому порядку вказані ТВ надаються розробнику оливи.

Після отримання ТВ від замовника розробник оливи оформлює технічне завдання (ТЗ) на розроблення нової оливи, що узгоджується із замовником і затверджується організацією розробника, що знаходиться вище. Вимоги до якості оливи, що розробляється, повинні відповідати ТЗ замовника.

Для вирішення питання про можливість використання розробленої оливи у виробі авіаційної техніки виконується необхідний обсяг випробувань дослідного зразка.

Інтенсивні незворотні процеси, що відбуваються в оливі під час її використання, викликають такі зміни її властивостей, коли різко знижується ефективність роботи трибосистеми, зростає момент тертя на підшипниках і в інших вузлах через збільшення в'язкості, знижується інтенсивність тепловідведення, теплопередачі, виникають корозійні явища через зростання кислотності тощо. У таких випадках для зниження негативного впливу властивостей оливи її замінюють. Заміна оливи на свіжішу призводить до виникнення в трибосистемі флуктуації властивостей рідкої фази, що виводить систему з рівноваги (через зміни інтенсивності фізико-хімічних процесів). Під час заміни оливи на свіжішу в трибосистемі протікають процеси адаптації А рідкої фази (рис. 3.18). Звідси витікає, що з частими замінами оливи трибосистема менш довговічна, оскільки вона частіше працює в нелінійному режимі, обумовленому флуктуаціями її властивостей.

Якщо в трибосистемах властивості оливи змінюються під дією тепла дисипативного процесу і каталітичних ефектів, то в оливосистемах двигунів – ще і під дією нагрітих поверхонь, активуюча дія яких може бути у багато разів сильніша, ніж чинників тертя. Тому при вирішенні завдань встановлення терміну служби оливи в двигунах необхідно враховувати інтенсивність дії всіх чинників, що викликають її старіння.

До них відносяться максимальна температура гарячої поверхні (зазвичай температура підшипників кочення й форсунок після виключення двигуна); потужність тертя; тривалість контакту

оливи з гарячою поверхнею; коефіцієнт циркуляції – відношення кількості оливи в баці до її витрати; коефіцієнт каталітичного впливу; робота виходу електрона металу, що визначає інтенсивність емісійних явищ між металом і оливою; коефіцієнт освіження – відношення кількості оливи, що доливається, до нормованої кількості; періодичність освіження; інтенсивність перемішування з повітрям.

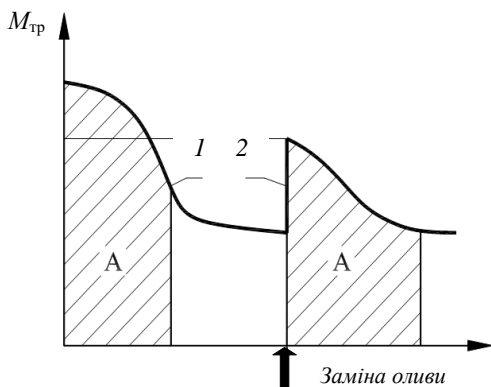


Рис. 3.18. Зміна моменту тертя $M_{тр}$ підшипника під час тривалого використання оливи (1) й заміни його на свіжіше (2):
 А – зона адаптації оливи

Ці параметри характеризують «жорсткість» двигуна стосовно оливи. Порівняння двигунів за інтенсивністю дії таких чинників дозволяє знаходити правильні відповіді під час вирішення багатьох завдань використання. До властивостей оливи, що впливають на термін їх служби і зазвичай враховуються у порівняльній оцінці якості під час вибору для використання в системах, відносяться енергія активації, індукційний період, термоокиснювальна стабільність, в'язкість. Найважливішими є енергія активації та рівень в'язкості.

Під час обліку каталітичного впливу поверхні на старіння оливи необхідно пам'ятати, що воно залежить від властивостей обох компонентів – і оливи, і поверхні. Каталітична активність залежить від того, якими властивостями – донорними або акцепторними –

характеризується олива. Найбільше каталітичне старіння спостерігається в тих випадках, коли олива служить акцептором.

Необхідність заміни оливи виникає із неповною відповідністю властивостей умовам її роботи в оливосистемі. Є два способи визначення моменту заміни – за станом і за призначеним терміном використання, що базуються на встановленні граничних значень найбільш важливих показників, наприклад, кінематичної в'язкості, кислотного числа, концентрації присадок. Граничні значення показників – це такі їх значення, із перевищенням яких експлуатація двигуна неефективна: знижується безпека польоту, ресурс роботи двигуна тощо. Граничні значення встановлюють дослідом.

Заміну оливи за станом здійснюють на підставі результатів спостереження за оливою під час роботи. Заміна за призначеним терміном (ресурсу, регламенту) виробляється незалежно від стану оливи, що залежить від властивостей оливи, особливостей конструкції й умов експлуатації, тому його значення індивідуальне для кожного типу двигуна і сорту оливи.

3.3. Номенклатура, властивості та якість олив для авіаційних двигунів

Традиційно асортимент олив охоплює мінеральні (нафтові) і синтетичні оливи. При цьому до кінця 70-х років століття близько 75 % від загальної кількості авіаційних олив, що виробляються, становили мінеральні оливи. Розроблення та упровадження в експлуатацію нових змащувальних олив з метою розширення сировинної бази для їх виробництва й підвищення експлуатаційних властивостей здійснювалось одночасно з розвитком двигунобудування.

Нижче коротко розглянуто асортимент олив, розроблених для використання в ТРД, ТВД, а також в ГТД і редукторах гелікоптерів. Необхідно зазначити, що розділення олив за типами двигунів є умовним. Практично у всіх ГТД може бути використана одна марка оливи, що має високі експлуатаційні властивості. Часто вирішальну роль із визначення можливості використання тієї або іншої оливи відіграють умови експлуатації, зокрема, умови запуску

двигуна в зимовий час за низьких температур довколишнього повітря.

Мінеральні оливи. У перших ТРД застосовувалися малов'язкі мінеральні оливи, що були на той час, призначені для інших видів техніки, – типу трансформаторної або веретенної олів. Ці оливи мали невисокі експлуатаційні властивості для використання на авіаційних двигунах.

На початку 50-х років була розроблена, випробована й допущена до використання мінеральна олива марки «МК-8» (ГОСТ 6457), що вироблялася з малосірчистої безпарафінної нафти. Олива марки «МК-8» термостабільна до 120 °С, і протягом багатьох років застосовувалося у виробках авіаційної техніки. На основі суміші ефірів діетиленгліколю і пентаеритриту та суміші синтетичних жирних кислот (ССЖК) фракції С₅–С₉ була розроблена олива 36/1, що містила як антиокиснювальну присадку 0,5 % параоксидифеніламіну. Пізніше на основі цієї оливи створили низку олів – «36/1К», «36/1Ку» і «36/1Ку-А». У складі вказаних олів містилася активна протизадирна присадка 2-меркапто-бензтіазол («каптакс»), введена для поліпшення змащувальної здатності оливи «36/1». Недоліком цих олів була висока корозійна агресивність стосовно кольорових металів і магнієвих сплавів. Наявність у складі олів «36/1К», «36/1Ку», «36/1Ку-А» присадки «каптакс» обумовлювало потенційну можливість утворення осаду в оливосистемі двигунів внаслідок окиснення присадки киснем повітря за підвищених температур. Продукт окиснення дитіобіс-бензтіазол («альтакс»), що утворюється при цьому, має значно гіршу розчинність в основі оливи, особливо за низьких температур, і за певних умов може випадати в осад.

На основі складних ефірів діізооктилового спирту та себацінової кислоти в 60-х роках була розроблена й допущена до використання олива «ВНИИ НП 50-1-4ф» (ГОСТ 13076), що має гарні низькотемпературні властивості й термостабільність до 175–180 °С. У кінці 70-х років термоокиснювальна стабільність оливи «ВНИИ НП 50-1-4ф» була покращена через додаткове введення до складу оливи нової антиокиснювальної присадки, а додавання до складу оливи антикорозійної присадки сприяло зниженню

корозійної агресивності оливи. Оновленій покращеній композиції була привласнена марка «ВНИИ НП 50-1-4 у».

Наприкінці 60-х років була розроблена й випробувана з позитивними результатами, що не мала на той час зарубіжних аналогів, синтетична вуглеводнева олива «ИПМ-10» (ТУ 38.1011299), що успішно застосовувалося як робоча олива в теплонапружених ТРД і на допоміжних агрегатах ЛА. Олива марки «ИПМ-10» вироблялася на основі ізопарафінових вуглеводнів. Олива марки «ИПМ-10» – суміш продукту гідрокрегінгу й гідроізомеризації парафіну зі складним ефіром себацінової кислоти та дізооктилового спирту з додаванням комплексу функціональних присадок. У 1993 р. виробництво оливи «ИПМ-10» було припинене через відсутність сировини необхідної якості. З 1999 р. олива «ИПМ-10» виробляється на основі ізопарафінових вуглеводнів, але отриманих за допомогою інших технологічних процесів – олігомеризацією альфаолефінів.

Для роботи на авіаційних ТРД високої теплової напруженості була розроблена олива «ВТ-301» на основі фторорганосилоксанів. Олива «ВТ-301» має високу термоокиснювальну стабільність (ТОС) (до 250–280 °С), унікальні низькотемпературні властивості, неагресивна до більшості авіаційних конструкційних матеріалів. До недоліків оливи «ВТ-301» можна віднести порівняно невисокі протизношувальні властивості, складність технології виготовлення і, як наслідок цього, високу вартість.

Оливи для турбогвинтових двигунів

Велика потужність авіаційних редукторів, що передається, у поєднанні з їх невеликими масою й габаритами призводить до посилення умов роботи пар тертя, зростання теплової та динамічної напруженості деталей й вузлів двигуна. Шестерні редукторів, як зазначалося вище, працюють за умов високих контактних навантажень. Міцність оливних плівок малов'язких авіаційних оливи, придатних для змащування опор ТРД за даних умов виявляється недостатньою. Для забезпечення надійного змащування шестерень редуктора ТВД потрібні оливи з більшою в'язкістю і вищою змащувальною здатністю.

Протиріччя у вимогах до якості олив, що повинні поєднувати високу змащувальну здатність із гарними ВТХ для забезпечення надійного запуску двигуна за низьких температур, призвели до необхідності використання як змащування для ТВД (на стадії їх створення та доведення), що мають загальну оливосистему з редуктором гвинта, суміші з малов'язких мінеральних олив (типу «МК-8») з високов'язкими залишковими олівами «МС-20» (або «МК-22»). Причому співвідношення вказаних олив у сумішах було різним для різних типів ТВД.

Суміші олив довгі роки застосовувалися під час експлуатації ТВД. При цьому замість оливи «МК-8» використовувалися інші малов'язкі оливи: «МС-8», «МК-6», «МС-6», трансформаторна «ТК». Потрібно зазначити, що оливні суміші в цілому мають невисокі експлуатаційні властивості. Вони не забезпечують запуску виробів у зимовий час без підігрівання, готуються на місці без достатнього контролю якості, ТОС їх недостатня. Під час експлуатації двигунів типу «АИ-20» на оливній суміші «СМ-4,5» наголошувалося про утворення значної кількості відкладень продуктів окиснення в оливосистемі, під час напрацювання двигунів більше 2000 год часто відбувалося коксування отворів кілець форсунок опори турбіни, що призводило до дострокового зняття двигунів.

Використання у складі оливосумішей мінеральної оливи «МС-8П», що містить достатню кількість інгібіторів окиснення і що має кращі в'язкісно-температурні властивості порівняно з оливою «МК-8», поліпшило властивості оливосуміші, особливо суміші марки «СМ-4,5». Підвищилася ТОС даної суміші, покращалися низькотемпературні властивості.

З метою створення єдиної оливи замість застосовуваних оливних сумішей у середині 60-х років були розроблені загущені оливи: мінеральна олива «МН-7,5», що містить комплекс різних присадок (загущувальні, антиокиснювальні, протизадирні, протизношувальні тощо), і синтетична олива «ВНИИ НП-7» на основі загущеного октолом ефіру діізооктилового спирту та себацінової кислоти. Як основа оливи «МН-7,5» використовувалася олива марки «МС-6». В'язкість олив «МН-7,5» і «ВНИИ НП-7» за 100 °С становила $\sim 7,5 \text{ мм}^2/\text{с}$. За даними лабораторних досліджень, оливи

«МН-7,5» і «ВНИИПП-7» істотно перевершували застосовувані оливосуміші за основними фізико-хімічними та експлуатаційними показниками (ТОС, змащувальні здатності, низькотемпературні властивості). Офіційні стендові й експлуатаційні випробування цих олив пройшли з позитивними результатами, і вони були допущені до використання. Проте під час випробувань олива «МН-7,5» в експлуатуючих підрозділах ЦА відзначалося значне зростання в'язкості оливи, особливо в двигунах «АИ-24». Перевірка працездатності оливи в південних районах виявила ще один істотний недолік оливи «МН-7,5» – поява смолоподібних часток на фільтрах лінії відкачування оливи з опор турбіни й лобового картера двигуна «АИ-20» внаслідок коксування оливи та недостатньої адгезії продуктів окиснення до металевої поверхні. Причинами таких дефектів були визнані недостатня ТОС оливи й висока випаровуваність її основи.

У 1973 р. розпочалися роботи зі створення покращеної оливи, що має порівняно з «МН-7,5» вищу ТОС та меншу випаровуваність. У 1975 р. така олива була розроблена й отримала назву «МН-7,5У». Під час експлуатаційних випробувань і подальшої експлуатації двигунів із використанням оливи «МН-7,5У» відзначалося істотне зниження в'язкості оливи під час робіт на двигунах «НК-12МВ» (до 6,4 мм²/с) внаслідок механічної деструкції загущувальних полімерних присадок. Під час експлуатації двигунів «АИ-24» було зазначене істотне зростання в'язкості оливи, що призводить до погіршення її низькотемпературних властивостей.

Оливи для газотурбінних двигунів і редукторів гелікоптерів

Силові установки гелікоптерів мають зазвичай дві роздільні оливосистеми: турбокомпресорної частини й редуктора. Для змащування турбокомпресорної частини можуть застосовуватися ті самі марки олив, що і для ТРД. При цьому справедливі всі тенденції створення і розвитку сучасних турбореактивних двигунів: зростання теплонапруженості ГТД, підвищення температури

деталей двигуна і робочих температур оливи, що контактують з оливою, необхідність використання більш термостабільних олив.

Вимоги до олив для редукторів гелікоптерів приблизно ті самі, що і до олив для ТВД. Для забезпечення нормальної роботи редукторів гелікоптерів потрібні оливи з більшою в'язкістю, що мають високу змащувальну здатність.

Наявність двох розділних оливосистем зумовило й два різні підходи до забезпечення змащування силових установок гелікоптерів: вживання різних марок олив для змащування турбокомпресорної частини й для змащування редуктора, і використання єдиної марки оливи. Останнє, звичайно, перспективніше, оскільки значно полегшує обслуговування гелікоптерів.

Двигун «Д-25В» гелікоптерів «Ми-6» і «Ми-10», наприклад, змащується малов'язкими оливами марок «МС-8П» і «МК-8П». У редукторах Р-7 цих гелікоптерів у літній час застосовується оливна суміш «СМ-11,5», а в зимових умовах – «СМ-8» (суміш рівних кількостей малов'язких олив і високов'язкої оливи «МС-20»). Під час використання вказаних сумішей у редукторах гелікоптерів характерними є ті самі недоліки, що й під час використання оливних сумішей у ТВД.

У силових установках гелікоптерів «Ми-2» і «Ми-8» для змащування двигуна протягом багатьох років застосовується синтетична олива марки «Б-3В» (ТУ 38.101295), створена на основі складних ефірів пентаерітриру та ССЖК фракції С₅–С₉. Олива марки «Б-3В» містить у своєму складі антиокиснювальну (параокси-дифеніламін) і протизадирну (2-меркаптобензотріазол) присадки, має високу змащувальну здатність. Серйозним недоліком оливи «Б-3В» є схильність до утворення осадів (подібно до олив «36/1К», «36/1Ку» і «36/1Ку-А») внаслідок окиснення протизадірної присадки, особливо в зимовий час. Ця олива термостабільна до 200 °С, проте висока корозійна агресивність її до деяких конструкційних матеріалів (мідні та магнієві сплави тощо) за підвищених температур обмежують температурні межі її використання.

Роботи з усунення зазначених недоліків оливи «Б-3В» призвели до створення нової синтетичної оливи «ЛЗ-240» (ТУ 301-04-010-92) на тій самій основі. Олива «ЛЗ-240» перевершує оливу «Б-3В» за ТОС, має меншу корозійну агресивність і не містить у своєму складі присадки «каптакс». За останніми показниками олива «ЛЗ-240» і «Б-3В» близькі. На підставі позитивних результатів випробувань на стендових умовах і під час використання олива «ЛЗ-240» допущена до використання у виробках авіаційної техніки поряд з оливою «Б-3В».

У двигуні «Д-13б» гелікоптера «Ми-26» застосовуються оливи «ИПМ-10» та «ВНИИ НП 50-1-4ф(у)», а в редукторі – олива «Б-3В» («ЛЗ-240»).

Великий асортимент олив для авіаційних ГТД створював серйозні труднощі під час експлуатації авіатехніки. У зв'язку з цим виникла необхідність скорочення асортименту авіаційних олив.

На початку 80-х років у розроблених і модернізованих авіаційних ГТД було рекомендовано застосовувати лише високоякісні синтетичні оливи.

Основні марки олив призначені для постійної експлуатації двигунів і повинні забезпечувати їх роботу в повній відповідності з вимогами, що висуваються до них. Дублюючі марки олив призначені для експлуатації двигунів за відсутності основних марок олив і повинні забезпечувати досягнення найбільш важливих із заданих тактико-технічних характеристик двигунів у конкретних умовах експлуатації.

Номенклатура основних і дублюючих марок олив для авіаційних ГТД наведена в табл. 3.26.

3.3.1. Фізико-хімічні та експлуатаційні властивості

Результати багаторічних досліджень фізико-хімічних і експлуатаційних властивостей мінеральних і синтетичних олив в узагальненому вигляді наведені в табл. 3.27 і 3.28.

Нижче за деякими оливами подана додаткова інформація.

Таблиця 3.26

Номенклатура основних і дублюючих марок олив для авіаційних ГТД

Основна марка оливи		Дублююча марка оливи		Сфера використання (тип двигуна)
Марка оливи, нормативний документ	Максимальна робоча температура, °С	Марка оливи, нормативно-технічний документ	Максимальна робоча температура, °С	
«МС-8РК» ТУ 38.1011181-88	150	«МС-8П» ОСТ 38.01163-78	150	ТРД старих типів
«ИПМ-10» ТУ 38.1011299-90	200	«ВНИИ НП 50-1-4у» ТУ 38.401-58-2-9	200	Теплонапружені ТРД
«ЛЗ-240» ТУ 301-04-010-92	200	«Б-3В» ТУ 38.1-1295-85	175	ГТД і редуکتори гелікоптерів нові ТВД, ТВД
«МН-7,5У» ТУ 38.101722-85	150	«СМ-4,5» «СМ-11,5»	125	ТВД старих Типів
«ВТ-301» ТУ 38.101657-85	250	—	—	Спеціальні ГТД

Примітки:

- Олива марки «ВТ-301» призначається для ГТД у випадках, коли вона не замінюється та не поповнюється під час експлуатації;
- Максимальна робоча температура відповідає температурі оливи на виході з двигуна та вимірюється на загальному виході з оливних насосів

Таблиця 3.27

Основні фізико-хімічні та експлуатаційні властивості мінеральних оливі для авіаційних ГТД

Найменування показника	Марки оливі				
	«МС-8П»	«МС-8рк»	«МН-7,5у»	«СМ-4,5»	«СМ-11,5»
Густина за $t = 20\text{ }^\circ\text{C}$, г/см ³	$\leq 0,878$ (15 °С)	$\leq 0,900$	≤ 900	$\leq 0,890$	$\leq 0,895$
В'язкість кінематична мм ² /с за температури: 50 °С	—	—	—	—	—
100 °С	$\geq 8,0$	$\geq 8,0$	—	—	—
мінус 35 °С	—	—	$\geq 7,5$	4,3–4,8	11,5±0,5
мінус 40 °С	≤ 4000	≤ 5000	≤ 7500	—	—
Кислотне число, мг КОН на 1 г оливи, не більше	0,03	0,15	0,10	0,05	0,05
Температура спалаху, °С не нижче:					
– у закритому тиглі	145	150	150	—	—
– у відкритому тиглі	—	—	—	145	150
Температура застигання, °С. не вище	Мінус 55	Мінус 55	Мінус 53	Мінус 35	Мінус 20
Вміст води механічних домішок водорозчинних кислот і лугів	Відсутність				

Продовження табл. 3.27

Вміст сірки, % не більше	0,6	0,6	-	-	-	-
Коксівність, % не більше	-	-	0,1	0,15	0,3	0,3
Термоокиснювальна стабільність за ГОСТ 23797, за температури, °С	150	150	175	150	150	150
В'язкість кінематична після окиснення, мм ² /с за температури: 50 °С 100 °С мінус 35 °С	≤ 10,0 - -	≤ 11,0 - -	- ≤ 10,0 ≤ 11500	15,7 4,42 520 (мінус 10 °С)	76,2 13,2 8695 (мінус 10 °С)	-
мінус 40 °С	≤ 5500	≤ 6750	-	-	-	-
- кислотне число після окиснення, мг КОН/г	≤ 0,40	≤ 0,70	≤ 0,75	0,31	0,98	0,98
- масова частка осаду не розчинного в ізооктані, %	≤ 0,10	≤ 0,15	≤ 0,15	0,01	0	0
- зміна маси пластинок від корозії після окиснення, г/м ² :						

Закінчення табл. 3.27

сталь ШХ-15 алюмінієвий сплав АК-4	Відеутність		0	0
	Відеутність	Відеутність		
мідь М1 (М2)	± 2	± 2	- 0,76	- 4,68
Трибологічні характеристики *); - критичне навантаження, кГс - показник зношування із осьовим навантаженням 20 кГс, мм	≥ 50	≥ 50	-	63
	$\leq 0,5$	$\leq 0,5$	-	0,45

* Визначається за допомогою ЧШМГ за температури 20 ± 5 °С.

Основні фізико-хімічні і експлуатаційні властивості синтетичних олиив для авіаційних ГТД

Найменування показника	Марки олиив					
	«ИПМ-10»	«ВНИИ НП 50-1-4в»	«Б-3В»	«ЛЗ-240»	«ПТС-225»	«ВТ-301»
Густина за $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, г/см ³	≥ 0,820	≤ 0,928	0,990–0,997	0,980–1,020	≤ 1,0	1,09–1,10
В'язкість кінематична, мм ² /с, за температури: 200 °С 100 °С мінус 40 °С	- ≥ 3,0 ≤ 3000	- ≥ 3,2 ≤ 2700	- ≥ 5,0 ≤ 12500	- ≥ 4,8 ≤ 12500	≥ 1,25 - ≤ 6500	≥ 2,5 ≥ 8,5 ≤ 800
Кислотне число, міліграм КОН на 1 г олиив, не більше	0,10	0,25	4,40–5,50	0,5	0,2	0,2
Температура спалаху (у відкритому тиглі), °С не нижче	190	204	235	235	235	260
Температура застигання °С, не вище	Мінус 50	Мінус 60	Мінус 60	Мінус 58	Мінус 60	Мінус 60
Вміст води	Відсутність					

Продовження табл. 3.28

Вміст механічних домішок, водорозчинних кислот і лугів	Відсутність					
	Термоокиснювальна стабільність за ГОСТ 23797 за температури, °С	200*	200	200*	200	225
- в'язкість кінематична після окиснення, мм ² /с, не більше: за температури 100 °С	5,0	3,7	6,0	6,0	—	10,0
мінус 40 °С	5000	—	20000	20000	30000	—
- кислотне число після окиснення, міліграм КОН/г не більше	8,0	4,5	0,7-2,0	1,5	—	0,30
- масова частка осаду розчинного в ізооктані %, не більше	0,35	0,15	0	0,10	0,15	0,12
- зміна маси пластинок від корозії після окиснення, г/м ² : сталь ІХ-15	Відс.	± 1,0				Відсутність
сплави АК-4	Відс.	± 1,0				Відсутність

Закінчення табл. 3.28

мідь М1 (М2)	± 1,0	± 4,0	-60	Відс.	-	±2,0
Трибологічні характеристики, що визначені на ЧШМГ за ГОСТ 9490 за 20±5 °С:						
- критичне навантаження кГс, не менше	71	75	89	89	-	-
- показник зношування з осьовим навантаженням 20 кГс мм, не більше	0,35	0,45	0,45	0,50	0,50	1,10

* Оцінка ТОС за методом, викладеним у стандарті на оливу.

Олива марки «МС-8П» – мінеральна олива селективного очищення, що виробляється із західно-сибірської, а також суміші західно-сибірської та приуральської нафт. Містить комплекс присадок різного функціонального призначення (антиокиснювальні, протизношувальні, антикорозійні). Призначена для використання на авіаційних ТРД із температурою оливи на виході з двигуна до 150 °С. Широко застосовується на ТРД старих серій ЦА і військової авіації, а також у складі оливних сумішей «СМ-4,5» і «СМ-11,5» (з оливою марки «МС-20») в ТВД типу «АІ-20», «АІ-24», «НК-12МВ» (МА). Олива марки «МС-8П» є основною маркою оливи для консервації паливних систем ГТД із терміном зберігання до 10 років.

Олива марки «МС-8РК» – олива робочої консервації, що виготовляється на базі оливи «МС-8П» із додаванням інгібітору корозії, додаткової кількості антиокиснювальних і антикорозійних присадок (порівняно з «МС-8П»). За фізико-хімічними та експлуатаційними властивостями аналогічна оливі «МС-8П», але перевершує її за характеристиками консервації. Призначення – аналогічне оливі «МС-8П».

Олива марки «МН-7,5У» – мінеральна загущена олива, що виробляється на основі оливи «МС-8А» (адсорбційного доочищення). Містить (окрім загущувальної) антиокиснювальну, протизадирну, протиспрацьовувальну й антикорозійну присадки. Є уніфікованою оливою для всіх типів ТВД старих випусків із температурою оливи на виході з двигуна до 150 °С.

Олива марки «ІПМ-10» – синтетична вуглеводнева олива з комплексом різних присадок. Призначена для використання в ТРД із температурою оливи на виході з двигуна до 200 °С. Олива «ІПМ-10» із середини 70-х років було основною, найбільш використовуваною, маркою оливи в теплонапружених двигунах військової та цивільної авіації, а також для змащування турбокомпресорної частини двигунів деяких гелікоптерів. Має малу корозійну агресивність стосовно конструкційних авіаційних матеріалів. Певним недоліком оливи «ІПМ-10» є чутливість оливи до перегрівання в гарячих зонах двигунів, що викликає утворення підвищеної кількості відкладень у оливосистемах виробів.

Допущена для консервації паливних систем ГТД із терміном зберігання до 10 років.

Олива марки «ВНИИ НП 50-1-4у» синтетична олива на основі складного ефіру ди-2-етилгексилсебацінату (діоктилсебацінату). Містить комплекс різних присадок (антиокиснювальні, протизношувальні, антикорозійні). Олива працездатна до 200 °С, допускається короткочасне нагрівання до 225 °С. Має гарні низькотемпературні властивості. Призначена для використання в теплонапружених ТРД. Поширенню оливи «ВНИИ НП 50-1-4у» перешкоджає дефіцит вихідної сировини – себацінової кислоти, що виробляється з рослинної сировини.

Олива марки «ЛЗ-240» – синтетична олива на основі складних ефірів пентаеритриту та ССЖК фракції С₅–С₉. Містить комплекс різних присадок (антиокиснювальну, протизадирну, протизношувальну, антикорозійну). Працездатна до 200 °С. Рекомендована для використання в ГТД і редукторах гелікоптерів, теплонапружених ТВД.

Олива марки «Б-3В» – синтетична олива на тій самій основі, що і «ЛЗ-240». Містить антиокиснювальну та ефективну протизадирну присадку 2-меркаптобензтіазол («каптакс»). Має високі змащувальні властивості, але агресивна до низки конструкційних матеріалів (сплави магнію, мідь). Рекомендована для використання на тих самих виробках авіаційної техніки, що і олива «ЛЗ-240», за температури не вище 175 °С. Серйозним недоліком оливи «Б-3В» є схильність до утворення осадів в результаті окиснення присадки «каптакс».

Олива марки «ВТ-301» – синтетична олива на основі фторорганосилоксанів. Термостабільна до 250 °С. (короткочасно до 280 °С). Олива «ВТ-301», на жаль, не може бути масовою внаслідок дефіциту сировини, складності технології виготовлення, високої вартості. Вона використовується лише на невеликих теплонапружених авіаційних виробках, де потрібні висока термоокиснювальна стабільність і гарні низькотемпературні властивості оливи, а її ціна не є перешкодою для використання.

Необхідно відзначити, що в кінці 70-х років на основі ефірів пентаеритриту та ССЖК було розроблено термостабільна олива «ПТС-225» із використанням складного комплексу різних

присадок. Під час розроблення цієї оливи була змінена і технологія отримання базової основи оливи (порівняно з технологією отримання основи олив «Б-3В» і «ЛЗ-240»): використаний новий каталізатор процесу етерифікації, спеціально виділена фракція ССЖК, способи очищення ефіру і тому подібне. Олива марки «ПТС-225» має високі експлуатаційні властивості, тривала працездатність за температур до 225 °С, пройшла з позитивними результатами тривалі стендові випробування на деяких теплонапружених ТРД у стендових умовах. Допущена в кінці 80-х років для відпрацювання перспективних теплонапружених авіаційних ГТД. На жаль, промислове виробництво оливи «ПТС-225» до теперішнього часу не організоване. Із впровадженням масового виробництва оливи марки «ПТС-225» могло б стати уніфікованим для більшості теплонапружених ТРД, ТВД, ТВВД, ГТД і редукторів гелікоптерів.

3.3.2. Взаємозамінюваність олив

Розвиток економічних зв'язків із зарубіжними країнами, зокрема, істотне зростання мережі міжнародних авіаліній ставить перед хімотологами нові проблеми із забезпечення високої експлуатаційної надійності вітчизняної авіаційної техніки, пов'язані з необхідністю використання на ній ПММ, що виробляються різними зарубіжними фірмами.

Для ухвалення рішення про допуск до застосування на вітчизняному виробі авіатехніки тієї чи іншої марки зарубіжної оливи необхідно встановити її еквівалентність відповідній марці вітчизняної оливи, тобто визначити взаємозамінюваність традиційних і зарубіжних олив.

Внаслідок високої теплонапруженості, великого ресурсу сучасних авіаційних ГТД, а також низки особливостей зарубіжних ПММ, що виробляються з іншої сировини, за іншою технологією та із застосуванням інших присадок, порівняно з вітчизняними, використання зарубіжних олив на вітчизняних авіадвигунах недопустиме без всебічного дослідження їх фізико-хімічних і експлуатаційних характеристик у лабораторних умовах,

а в деяких випадках, без проведення спеціальних стендових або експлуатаційних випробувань.

Складність вирішення вказаної проблеми очевидна. Вона обумовлена великою номенклатурою ММ, що продукуються та використовуються за кордоном і в нашій країні.

Зарубіжні оливи допускаються до використання лише за умови включення їх розробником і виробником авіатехніки в технічну документацію з експлуатації та обслуговування виробу. Підставою для внесення до такої документації тих чи інших марок зарубіжних олив є «Перелік зарубіжних паливно-мастильних матеріалів, рекомендованих до застосування на авіатехніці вітчизняного виробництва», що включає марки традиційних ПММ та відповідні їм марки товарних зарубіжних продуктів. При цьому еквівалентність вітчизняних і зарубіжних марок олив встановлюється на підставі таких документів:

- специфікацій, сертифікатів і іншої технічної документації на зарубіжні оливи;
- результатів лабораторних випробувань зразків товарних зарубіжних олив в обсязі показників НД на відповідну вітчизняну оливу та в обсязі комплексу методів кваліфікаційної оцінки (КМКО) (за умов, що відповідають виконанню випробувань вітчизняної оливи);
- результатів стендових випробувань виробів вітчизняної авіатехніки на зарубіжній оливі;
- узагальнення та аналізу досвіду використання зарубіжної оливи на конкретних виробках вітчизняної авіаційної техніки.

У таблиці 3.29 наведений перелік зарубіжних мінеральних і синтетичних олив, рекомендованих до використання під час експлуатації авіаційних ГТД і редукторів гелікоптерів, як робочих марок, а також вказані деякі рекомендації з їх використання та можливі обмеження.

Таблиця 3.29

Номенклатура олив для авіаційних ГТД і редукторів гелікоптерів

Традиційні оливи		Зарубіжні оливи		Країна, фірма
Марка, НД	Марка	Специфікація		
«МС-8П» ОСТ 38.01163-78	HP-8 AeroShell Turbine Oil 3SP Turbonycoil 321	DEF STAN 91-99 AIR 3515/B		Китай Shell NYCO
«МС-8рк» ТУ 38.1011181-88	Mobil Turbo 319A-2 Turbonycoil 210A	MIL-PRF-7808L Gr.3		ExxonMobil NYCO
75 % «МС-8П» («МС-8рк») + 25 % «МС-20» («СМ-4,5»)	Turbonycoil 306	75 % Turbonycoil 321 + 25 % Turbonycoil 308		NYCO
25 % «МС-8П» («МС-8рк») + 75 % «МС-20» («СМ-11,5»)	Turbonycoil 312	25 % Turbonycoil 321 + 75 % Turbonycoil 308		NYCO
50 % «МС-8П» («МС-8рк») + 50 % «МС-20» («СМ-8»)	Turbonycoil 313	50 % Turbonycoil 321 + 50 % Turbonycoil 308		NYCO
«МН-7,5у» ТУ 38.1-1722-85	Turbonycoil 35A ¹⁾ Turbonycoil 35M ¹⁾ AeroShell Turbine Oil 750 ¹⁾ Castrol AERO 98 ¹⁾	AIR 3517 DEF STAN 91-98 DEF STAN 91-98 DEF STAN 91-98		NYCO NYCO Shell Castrol

	(Turbonycoil 98) ¹⁾			
«ИПМ-10» ТУ 38.1011299-90	Turbonycoil 210A	AIR 3514/A	NYCO	
	Mobil Turbo 319A-2 HP-928	MIL-PRF-7808L Gr.3 YOB/KJ 42-2000	NYCO ExxonMobil Китай	
«ВНИИ НП 50-1-4ф» ГОСТ 13076-86	Turbonycoil 210A	AIR 3514/A	NYCO	
	Mobil Turbo 319A-2 AeroShell Turbine Oil 390	MIL-PRF-7808L Gr.3 DEF STAN 91-94	ExxonMobil Shell	
«ВНИИ НП 50-1-4у» ТУ 38.401-58-12-91	Castrol AERO 325	DEF STAN 91-94	Castrol	
	BP Turbo Oil 2389	MIL-PRF-7808L Gr.3	BP	
	HP 928	YOB/KJ 42-2000	Китай	
	Avrex S Turbo Oil 256	MIL-PRF-7808L Gr.3	ExxonMobil	
	Mobil Jet Oil II ²⁾	MIL-PRF-23699	ExxonMobil	
	BP Turbo Oil 2380 ²⁾	MIL-PRF-23699	BP	
	AeroShell Turbine Oil 560 ²⁾	DEF STAN 91-101	Shell	
	Turbonycoil 525-2A ²⁾	MIL-PRF-23699	NYCO	
	Turbonycoil 600 ²⁾	MIL-PRF-23699	NYCO	
		Turbonycoil 600 ²⁾	AIR 3514/A	NYCO
«36/Ку-а» ТУ 38.101384-78	Mobil Turbo 319A-2	MIL-PRF-7808L Gr.3	ExxonMobil	
	AeroShell Turbine Oil 390	DEF STAN 91-94	Shell	
	BP Turbo Oil 2389	MIL-PRF-7808L Gr.3	ExxonMobil	
	Avrex S Turbo Oil 256	MIL-PRF-7808L Gr.3	ExxonMobil	

Закінчення табл. 3.29

	Mobil Jet Oil II ²⁾ BP Turbo Oil 2380 ²⁾ AeroShell Turbine Oil 560 ²⁾ Turbonycoil 525-2A ²⁾ Turbonycoil 600 ²⁾	MIL-PRF-23699 MIL-PRF-23699 DEF STAN 91-101 MIL-PRF-23699 MIL-PRF-23699	ExxonMobil BP Shell NYCO NYCO
«Б-3В» ТУ 38.101295-85 «ЛЗ-240» ТУ 301-04-010-92	Castrol AERO 98 ³⁾ (Turbonycoil 98) ³⁾ Turbonycoil 35M ³⁾ Mobil Jet Oil II Mobil Jet Oil 254 BP Turbo Oil 25 AeroShell Turbine Oil 560 Turbonycoil 525-2A Turbonycoil 600 Castrol AERO 599 (Turbonycoil 699) Castrol AERO 5000 Castrol AERO 5000	DEF STAN 91-98 DEF STAN 91-98 MIL-PRF-23699 MIL-PRF-23699 DOD-L-85734 DEF STAN 91-101 MIL-PRF-23699 MIL-PRF-23699 DEF STAN 91-100 MIL-PRF-23699F MIL-PRF-23699F	Castrol NYCO NYCO ExxonMobil ExxonMobil BP Shell NYCO NYCO Castrol NYCO Castrol Castrol
«ПТС-225» ТУ 38.401-58-1-90			

Під час включення до вказаного переліку марок зарубіжних олив, взаємозамінних із вітчизняними марками, враховувалася, в основному, не аналогія компонентного складу оливи, а аналогія фізико-хімічних і експлуатаційних властивостей, що підтверджує принципову можливість використання зарубіжних марок олив на виробах авіатехніки замість тих чи інших вітчизняних олив.

Зарубіжні оливи, помічені в таблиці 3.29 індексами 1–3, мають порівняно з традиційними оливами такі відмінності:

1) олива з підвищеною корозійною агресивністю щодо матеріалів, що містять свинець, порівняно з вітчизняним аналогом;

2) в'язкість зарубіжної оливи, що виробляється за специфікацією MIL-PRF-233699, за температури мінус 40 °С – більша ніж 8000 мм²/с

3) олива зі зниженою термоокиснювальною стабільністю порівняно з вітчизняним аналогом. Оливи Castrol 98 (Turbonycoil 98), Turbonycoil 35M можуть застосовуватися на двигунах із температурою оливи на виході з двигуна не вище 175 °С.

Необхідно враховувати, що:

– під час роботи на оливах, вказаних вище в пунктах 1) і 3), обмеження з напрацювання двигунів на цих оливах протягом ресурсу встановлюється з досвіду експлуатації;

– змішування традиційних і зарубіжних синтетичних олив не допускається (за винятком олив марок «ИПМ-10» і Turbonycoil 210A, що можуть змішуватися в будь-яких співвідношеннях). Під час переходу з оливи традиційного виробництва на зарубіжну й назад потрібне промивання оливосистеми двигуна оливою, що планується для використання;

– робочі оливи зарубіжного виробництва допускається використовувати для консервації лише оливосистем двигунів, дотримуючись особливостей консервації оливосистем традиційними аналогами відповідно до чинних інструкцій;

– під час запису в технічній документації двох сортів вітчизняної оливи, допущеної до використання (наприклад, «ИПМ-10» і «36/1Ку-А» або «ИПМ-10» і «ВНИИ НП 50-1-4Ф»), вирішується використання зарубіжних аналогів обох марок вітчизняних олив.

У таблиці 3.30 наведені марки зарубіжних оливо, що можуть використовуватись для консервації паливних систем традиційних авіаційних ГТД, що експлуатуються на тепер, а в таблиці 3.31 – для зовнішньої консервації авіатехніки.

Таблиця 3.30

Оливи для консервації паливних систем авіаційних двигунів

Традиційні оливи		Зарубіжні оливи	
Марка, ГОСТ, ТУ	Марка	Специфікація	Країна, фірма
«МК-8» ГОСТ 6457	HP-8	–	Китай
	HP-928	YQB/KJ42-2000	Китай
«МС-8П» ОСТ 38.01163-78	Aeroshell Turbine Oil 3SP	DEF STAN 91-99	Shell
	Turbonycoil 321	AIR 3515/B	NYCO
«МС-8рк» ТУ 38.1-11181-88	Turbonycoil 3516	AIR 3516/A	NYCO
	Mobil Turbo 319A-2	MIL-PRF-7808L Gr.3	ExxonMobil

Таблиця 3.31

Оливи для зовнішньої консервації виробів авіатехніки

Традиційні оливи		Зарубіжні оливи	
Марка, ГОСТ, ТУ	Марка	Специфікація	Країна, фірма
«К-17» ГОСТ 10877	Nycolube 20	MIL-L-21260 Grade 30	NYCO

Основний об'єм авіаційних ММ виробляється на сьогодні міжнародними корпораціями ExxonMobil, British Petroleum (BP), Shell. Відносно невеликий об'єм авіаційних оливо виробляється фірмою NYCO (Франція).

Низка країн, що виробляють сучасні ГТД або купують їх, прагнуть до створення та виробництва своїх, національних, ММ (Канада, Китай, Індія та ін.).

Зарубіжні специфікації на оливи є стандартами, в яких передбачені певні вимоги до фізико-хімічних і експлуатаційних

властивостей окремих марок олив. У зв'язку зі зміною, і зазвичай, посиленням норм на окремі показники якості олив, методів досліджень і тому подібне, специфікації уточнюються – вносяться зміни. На сьогоднішній день специфікація США на мінеральні оливи для авіаційних ГТД має позначення Mil-PRF-6081D. Вимогами цієї специфікації передбачено виробництво двох сортів олив – сорт 1005 і 1010. У Великобританії вимоги до якості мінеральних олив відображено в специфікації DEF STAN 91-99 (замість DERD 2490).

Фірма ExxonMobil на вимоги специфікації Mil-PRF-6081D виробляє оливу Avrex M Turbo 201|1010, фірма Shell – AeroShell Turbine Oil 2, фірма NYCO – Turbonucoil 3516 (відповідає також вимогам специфікації Air 3516|A), фірма ExxonMobil – Turbo Oil 10. На вимоги специфікації DEF STAN 91-99 фірма Shell виробляє оливу AeroShell Turbine Oil 3, фірма NYCO – Turbonucoil 280p (специфікація Франції Air 3515/B).

Вказані оливи зазвичай не містять спеціального комплексу присадок для підвищення експлуатаційних характеристик або мають в незначній кількості одну-дві присадки – антиокиснювальну й депресорну. У деякі оливи додається стеаринова кислота для поліпшення змащувальних властивостей (але погіршує антикорозійні властивості олив). Так, фірма Shell має можливість виробляти оливу Turbine Oil 3SP, фірма NYCO – Turbonucoil 321. У Китаї досить давно виробляється «Олива HP-8 (№ 8)», що не поступається за якістю оливі MC-8П.

Деякі з властивостей вказаних вище зарубіжних мінеральних олив наведені в таблиці 3.32.

У зв'язку з тим, що мінеральні оливи вже не задовольняють вимоги використання в сучасних теплонапружених ГТД, на сьогодні за кордоном практично у всіх ГТД використовуються, в основному, лише синтетичні оливи. У США і Англії регулярне використання синтетичних олив почалося з 1952 р. У зв'язку з різними кліматичними умовами в цих країнах до низькотемпературних властивостей олив, що використовувалися на американських двигунах, висувалися жорсткіші вимоги, ніж до англійських олив. Вони повинні були забезпечувати запуск двигунів за температури мінус 54 °С.

Таблиця 3.32

Фізико-хімічні та експлуатаційні властивості зарубіжних мінеральних олив

Найменування показника	Оливи зарубіжних фірм						Китай	
	Shell		Румунія	Еххон Mobil	NYCO			
	Turbine Oil 2	Turbine Oil 3P	Turbine Oil 3sp	AV-8A	ExxonMobil I Turbo Oil 10 (за каталогом фірми)	TN 280P		TN 321
Густина за $t = 20\text{ }^\circ\text{C}$, г/см ³	0,879	0,867	0,875	0,874	0,864	0,888	0,866	0,855
В'язкість кінематична, мм ² /с: за $t = 50\text{ }^\circ\text{C}$	7,09	8,63	8,04	8,22		9,43	8,19	8,33
за $t = \text{мінус } 40\text{ }^\circ\text{C}$	3120	8957	3648	7275	2442	14500	3655	4610
Кислотне число, мг КОН/г	0,004	0,12	0,02	0,01	0,01	0,08	0,01	0,01
Температура спалаху (у закритому тиглі), $^\circ\text{C}$	135	145	160	158	143	148	148	150
Температура застигання, $^\circ\text{C}$	мінус 60	мінус 59	мінус 65	мінус 60	мінус 65	мінус 56	мінус 60	мінус 55
Вміст води, механічних домішок, водорозчинних кислот і лугів	Відс.	Відс.	Відс.	Відс.	Відс.	Відс.	Відс.	Відс.
Вміст сірки, %	–	0,21	0,13	–	–	0,60	0,35	Відс.

Продовження табл. 3.32

Зольність, %	0,003	-	0,003	Відс.	-	0,005	0,008	-
Термоокиснювальна стабільність за ГОСТ 23797 за температури - 150 °С	8,26 4650	9,28 10930	8,29 4273	8,54 7690	-	9,70 15260	8,36 3950	8,68 5432
- в'язкість кінематична після окиснення мм ² /с: за t = 50 °С								
t = мінус 40 °С								
- кислотне число після окиснення, мг КОН/г	1,02	0,44	0,035	0,17	-	0,12	0,03	0,01
масова частка осаду, не розчинного в ізооктані, %	0,47	0,01	0	0,02	-	0,04	0,005	0
- зміна маси пластинок від корозії після окиснення, г/м ²	0	0	0	0	-	0	0	0
сталь ШХ-15	+0,7	0	0	0	-	0	0	0
сплав АК-4	-0,85	0	0	-9,0	-	0	0-	0
мідь М1 (М2)							0,65	

Закінчення табл. 3.32

Трибологічні характеристики, що визначаються на ЧШМТ за $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ за ГОСТ 9490: - критичне навантаження, кГс - показник зношування, мм	40	34	50	72	-	40	52	40
	0,77	0,56	0,46	0,32	-	0,74	0,44	0,71

Тому в США на усіх типах ГТД застосовувалися синтетичні оливи на основі діефірів із в'язкістю 3 мм²/с за 100 °С і 13000 мм²/с за мінус 54 °С, що відповідають вимогам військової специфікації MIL-L-7808, на той час, як на англійських ГТД застосовувалися загущені оливи на тій самій основі з в'язкістю 7,5 мм²/с за 100 °С і порядку 13000 мм²/с за мінус 40 °С, що відповідають вимогам специфікації DERD 2487.

Надалі для ГТД потрібні були оливи, що мають вищі якості за термоокиснювальною стабільністю й несучою здатністю, а також меншу випаровуваність порівняно з діефірними оливами, тобто оливи, що працюють за температури 200 °С і вище.

Вимоги до цих олив були відображені в специфікаціях MIL-L-23699, MIL-L-9236 і DERD 2497. Специфікація MIL-L-9236 в 1972 р. була скасована і замість неї затверджена специфікація MIL-L-27502. Вимогам цих специфікацій відповідають оливи, що розробляються на основі ефірів неопентилітових поліолів.

Зарубіжні специфікації США на синтетичні оливи MIL-L-7808, MIL-L-23699, MIL-L-27502 також є стандартами, в яких передбачені певні вимоги до фізико-хімічних і експлуатаційних властивостей окремих типів олив.

Посилення вимог до олив знаходило відображення також в змінах специфікацій. Так, специфікація MIL-L-7808, що була введена в 1951 р. (на сьогодні позначається як Mil - PRF-7808L) передбачає випуск двох сортів олив, – з в'язкістю за 100 °С (3 мм²/с (grade 3) і (4 мм²/с (grade 4). Специфікація Mil-L-23699 також неодноразово переглядалася й сьогодні має позначення Mil-PRF-23699F. Цією специфікацією також передбачається вироблення двох сортів олив із в'язкістю (5 мм²/с за 100 °С: стандартного сорту оливи (STD) і оливи з підвищеними захисними властивостями «класу C/J» внаслідок введення спеціальних інгібіторів корозії (для використання, зокрема, в ГТД виробів корабельної авіації).

За англійською специфікацією DEF STAN 91-101 (видана замість специфікацій DERD 2497 і DERD 2499, що діяли раніше) також виробляються два сорти олив: OX-27 (для авіаційних ГТД) і OX-28 (для суднових ГТД, із посиленням вимог за сумісністю з матеріалами ущільнювачів зі збереженням на тому самому рівні, що і для OX-27, вимог із термостабільності, корозійної агресив-

ності та низькотемпературних властивостей). Окрім DEF STAN 91-101, в Англії затверджено декілька оновлених специфікацій на синтетичні оливи для авіаційних ГТД:

– DEF STAN 91-94 (замість DERD 2468) – на оливи із в'язкістю ≥ 3 мм²/с за 100 °С;

– DEF STAN 91-98 (замість DERD 2487) – на загущені оливи із в'язкістю $\sim 7,5$ мм²/с за 100 °С;

– DEF STAN 91-100 (також замість DERD 2497) – на оливи із в'язкістю ≥ 5 мм²/с за 100 °С, що мають підвищену несучу здатність, і практично еквівалентній специфікації США DOD-L-85734.

Французькою специфікацією Air 3514/A також передбачається вироблення синтетичних олив із в'язкістю ≥ 3 мм²/с за 100 °С.

На сьогодні за кордоном найбільш масовими синтетичними oliвами для авіаційних ГТД є оливи на основі складних ефірів із в'язкістю ~ 3 мм²/с за 100 °С (ефіри двоосновних кислот і моноспиртів) для двигунів військової авіації та із в'язкістю ~ 5 мм²/с за 100 °С (ефіри багатоатомних спиртів і монокарбонічних кислот) для виробів військової авіаційної техніки та ЦА.

Основний об'єм синтетичних складноефірних олив також виробляється на сьогодні міжнародними корпораціями ExxonMobil, British Petroleum і Shell (Royco). Складні ефіри, що є основним класом масових олив, виробляються фірмами Hercules, Geigy, NYCO, Unichema та ін. На відміну від олив і базових основ, присадки різного функціонального призначення виробляються багатьма фірмами.

Протягом багатьох років генеральною лінією в поліпшенні якості олив для ГТД є підвищення їх ТОС. Проте при цьому виникає проблема із забезпеченням необхідного рівня низькотемпературних властивостей.

Разом із поліпшенням ТОС і низькотемпературних властивостей потрібне також поліпшення захисних властивостей ефірних олив. Перш за все, це необхідно для забезпечення змащування перспективних виробів авіатехніки, що використовується у ВМФ (корабельна й берегова авіація) і це знайшло відображення в розробленні вимог до класу олив С/І за

специфікацією Mil-PRF-23699F і в появі товарних олив вказаного класу.

Необхідно відзначити, що відповідно до вимог специфікацій склад оливи не лімітується, за винятком заборони на використання металоорганічних сполук титану й обмеження вмісту орто-ізомеру в трикрезилфосфаті (не більше 1 %) під час його використання у складі композиції оливи для поліпшення змащувальної здатності.

Товарними зарубіжними продуктами є також різні продукти із вмістом фтору, що використовуються як високотемпературні оливи та гідрорідини для аерокосмічної техніки, а також як дисперсійне середовище пластичних мастил спеціального призначення. Так, широко відомі перфторполіефіри і перфторалкілполіефіри, що мають загальну назву «Рідини Fomblin» (фірма Montefluos s.p.a.) «Krytox» (фірма Du Pont) і «Brayco» (фірма Bray Oil Co.). Усі ці товарні рідини із вмістом фтору в перспективі можуть бути використані як базові компоненти високотермостабільних олив на неефірній основі.

Для забезпечення беззмінної роботи оливи в авіаційних ГТД протягом міжремонтного ресурсу двигунів і підвищення надійності їх експлуатації зарубіжними фірмами розроблені оливи так званого «третього покоління» на основі складних ефірів поліолів, що відповідають вимогам специфікацій Mil-PRF-23699F і DEF STAN 91-101 і що мають вищі експлуатаційні властивості (ТОС і несучу здатність) порівняно з товарними оливами II-го покоління, що традиційно застосовуються протягом багатьох років. Це оливи класу HTS (High Thermal Stability). Використання таких олив дозволяє знизити об'єм робіт і витрати з технічного обслуговування авіаційної техніки, подовжує термін служби підшипників, скорочує витрату оливи.

Фірмами ExxonMobil, British Petroleum, Shell та ін. виробляються зазвичай декілька марок синтетичних олив на основі складних ефірів, що відповідають вимогам різних специфікацій.

Фізико-хімічні та експлуатаційні властивості деяких зарубіжних синтетичних олив на основі складних ефірів і поліальфаолефінів наведені в таблицях 3.33 і 3.34.

Фізико-хімічні та експлуатаційні властивості зарубіжних синтетичних олив за специфікаціями MIL-PRF-7808L (grade 3), Air 3514/A, DEF STAN 91-94

Найменування показника	Оливи зарубіжних фірм					
	Shell	ExxonMobil		ExxonMobil	Turbo-nycoil 13B	NYCO Turbo-nycoil 210A
	AeroShell Turbine Oil 390	Mobil Avrex S Turbo 256	Mobil Turbo 319 A-2	Exxon Turbo Oil 2389	Turbo-nycoil 13B	Turbo-nycoil 210A
Густина за $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, г/см ³	0,925	0,938	0,845	0,948	0,938	–
Кінематична в'язкість, мм ² /с, за $t = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$	3,87	3,32	3,78	3,23	3,30	3,61
за $t = \text{мінус } 40\text{ }^{\circ}\text{C}$	2145	2206	2840	2000	2030	2510
Температура застигання, $^{\circ}\text{C}$	мінус 60	нижче мінус 60	нижче мінус 60	нижче мінус 60	нижче мінус 60	мінус 65
Температура спалаху у відкритому тиглі, $^{\circ}\text{C}$	220	226	228	214	206	197
Вміст води, механічних домішок, розчинних кислот і лугів	Відс.	Відс.	Відс.	Відс.	Відс.	Відс.
Кислотне число, мг КОН/г оливи	0,14	0,08	0,02	0,14	0,03	0,08
Зольність, %	0,02	Відс.	–	Відс.	Відс.	–
Коксівність, %	0,27	0,17	–	0,012	Відс.	–

Закінчення табл. 3.33

<p>Термоокиснювальна стабільність в об'ємі оливи за ГОСТ 23797 за температури, °С:</p> <ul style="list-style-type: none"> - кінематична в'язкість, мм²/с, за $t = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ <li style="padding-left: 20px;">за $t = \text{мінус } 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ - кислотне число, мг КОН/г - масова частка осаду не розчинного в ізооктані, % - корозія на пластинах після окиснення, мг/см²: <li style="padding-left: 20px;">сталь ПХ-15 <li style="padding-left: 20px;">сплав АК-4 <li style="padding-left: 20px;">мідь М1 (М2) <p>Трибологічні характеристики, що визначаються на ЧШМТ за $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ за ГОСТ 9490:</p> <ul style="list-style-type: none"> - критичне навантаження, кГс - показник зношування, мм 	175/200	200	200	200	200	200	200	200	200
	3,90/4,38	3,64	4,0	3,52	5,03	3,89			
	2400/3560	2820	3320	2520	9440	2515			
	0,82/11,0	1,98	0,70	0,98	6,68	0,26			
	0,02/0,33	0,05	0,04	0,04	0,27	0,01			
	0/0	0	0	0	0	0			
	0/0	0	0	0	0	0			
	0/0,7	0	0	0	0	0			
	50	90	70	80	56	76			
	0,36	0,35	0,28	0,60	0,55	0,28			

Таблиця 3.34
Фізико-хімічні та експлуатаційні властивості зарубіжних синтетичних олив на основі складних ефірів поліолів за специфікаціями Mil-PRF-23699F, DOD-L-85734, DEF STAN 91-101

Найменування показника	Оливи зарубіжних фірм									
	Shell		ExxonMobil		Castrol	British Petroleum		NYCO		
	Аеро-shell Turbine Oil 500	Аеро-Shell Turbine 555	Аеро-Shell Turbine 560	Mobil Jet Oil II	Mobil Jet Oil 254	CASTROL 5000	BP Turbo Oil 2380	BP Turbo Oil 25	Turbo-nucoil 525-2A	Turbo-nucoil 600
Густина за $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, г/см ³	0,992	0,988	0,985	0,992	0,995	0,969	0,972	0,989	0,949	0,980
Кінематична в'язкість, мм ² /с: за $t = 100 \text{ }^\circ\text{C}$	5,19	5,19	5,25	5,06	5,15	5,03	4,95	5,08	5,19	5,14
за $t = \text{мінус } 40 \text{ }^\circ\text{C}$	10460	10860	9615	12330	10760	9600	7916	8170	9550	9620
Температура застигання, $^\circ\text{C}$	мінус 62	мінус 56	мінус 60	мінус 56	мінус 58	мінус 60	мінус 60	мінус 60	мінус 60	–
Температура спалаху в відкритому тиглі, $^\circ\text{C}$	240	256	265	248	254	260	245	248	244	264

Продовження табл. 3.34

Вміст води, механічних домішок, водорозчинних кислот і лугів	Відс.	Відс.	Відс.	Відс.	Відс.	Відс.	Відс.	Відс.	Відс.	Відс.	Відс.
Кислотне число	0,15	0,26	0,19	0,06	0,22	0,04	0,33	0,41	0,18	0,09	
Зольність, %	0,005	0,01	0,017	0,002	0	0	0,002	0	0	0,02	
Коксівність, %	0,028	0,27	0,09	0,08	0,78	0,034	0,042	0,065	0,04	0,05	
Термоокиснювальна стабільність в об'ємі за температури, °С	200	200/225	225/240	200	200/225	225	225	200	200	200/225	
- кінематична в'язкість, мм ² /с: за t = 100 °С	5,66	5,56/6,88	6,61/6,98	5,57	5,47/6,44	5,5/6,89	6,0	6,77	5,67	5,37/6,38	
за t = мінус 40 °С	13220	13200/28460	16440/21630	1555	14170/24650	11130/31790	15290	24000	12320	11370/17170	
- кислотне число, мг КОН/г	0,32	1,50/2,26	1,3/1,8	0,52	0,51/1,78	0,61/3,05	1,56	2,24	0,78	0,6/1,53	

Закінчення табл. 3.34

- масова частка осаду, не розчинного в ізооктані, %	0,03	0,02/ 0,025	0/0	0,01	0,02/ 0,03	0,01/ 0,07	0,03	0	0,03	0,02/ 0,03
- корозія на пластинах після окиснення, мг/см ² :										
- сталь ШХ-15	0	0/0	0/0	0	0	0/0	0	0	0	0/0
- сплав АК-4	0	0/0	0/0	0	0	0/0	0	0	0	0/0
- мідь М1 (М2)	-1,8	0/-5,0	0/0	0	-1/-3	0/-1,5	0	-3,77	0	-0,8/ -1,85
Трибологічні характеристики*:										
- критичне навантаження, кГс	56	89	68	56	75	60	72	89	76	78
- показник зношування, мм	0,65	0,35	0,29	0,40	0,34	0,35	0,32	0,31	0,35	0,70

* Визначаються на ЧШМТ за ГОСТ 9490.

3.4. Методи аналізу якості олив для авіаційних двигунів

Жорсткі вимоги, що висуваються до якості олив на авіаційних ГТД, обумовлюють і вимоги до обсягу та змісту лабораторних досліджень і випробувань авіаційних олив, на підставі яких вирішується питання про можливість їх застосування під час експлуатації авіаційної техніки. Такі вимоги зафіксовані у нормативній документації (НД) на конкретні марки олив, що відображає вимоги до основних фізико-хімічних і експлуатаційних властивостей олив. Крім того, вимоги до якості оливи, що розробляється, визначаються також нормами «Комплексу методів кваліфікаційної оцінки олив для авіаційних ГТД і редукторів гелікоптерів», що дозволяють отримати необхідні дані про якість оливи.

Номенклатура показників якості олив встановлюється ДСТУ 4106.

У НД на оливи для ГТД повинно бути вказано не менше 12 показників якості, а під час проведення випробувань дослідної оливи в об'ємі I-го етапу (під час розробки і постановки оливи на виробництво) має бути оцінено близько 30 показників якості оливи. Ці показники якості оцінюються як за допомогою стандартних методів дослідження, так і спеціальних методів, що входять в КМКО.

Перелік методів, що використовуються під час лабораторних досліджень олив для авіаційних ГТД, наведений в таблиці 3.35. Із наведених у табл. 3.35 показників якості олив 20 показників оцінюються стандартними методами, інші – за допомогою оригінальних кваліфікаційних методів. Перші 16 показників, як правило, входять у НД на конкретну марку того або іншого товарної оливи, інші – використовуються на додаток до них під час досліджень нових дослідних змащувальних олив під час розроблення та постановки на виробництво, а також під час кваліфікаційних випробувань тощо. Оцінка якості олив методами, вказаними в НД на них (ТУ, ОСТ, ГОСТ), виконується в контрольних лабораторіях виробника олив і фіксується представником замовника. Це сприяє забезпеченню високої та стабільної якості олив, що виробляються.

Таблиця 3.35
Перелік методів, що використовуються під час досліджень олиव для авіаційних ГТД

Найменування показника якості	Метод оцінки
<ol style="list-style-type: none"> 1. Густина 2. В'язкість кінематична 3. Температура застигання 4. Температура спалаху: <ul style="list-style-type: none"> - у відкритому тиглі - у закритому тиглі 5. Кислотне число 6. Вміст механічних домішок 7. Масова частка води 8. Масова частка золи 9. Масова частка сірки 10. Трибологічні характеристики (змащувальна здатність) на ЧШМТ 	<p>ДСТУ ГОСТ 31072, ASTM D 4052, EN ISO 3675, ГОСТ 3900</p> <p>ДСТУ ГОСТ 33-2003, ASTM D 445, ISO 3104-94 ASTM D97, ISO 3016, ГОСТ 20287</p> <p>ASTM D92, ISO 2592:2000, ГОСТ 4333 ASTM D93, EN ISO 2719, ГОСТ 6356 DIN EN 12634, ASTM D 664, SAE-ARP-5088, ГОСТ 5985, ГОСТ 11362</p> <p>ASTM D 2273, ГОСТ 6370</p> <p>ASTM D95, ASTM D4006, ISO 9029, ГОСТ 2477 ISO 6884, ГОСТ 1461</p> <p>ASTM D 2784-89, ГОСТ 6307, ГОСТ 1431, ГОСТ 19121</p> <p>ASTM D 2783, ГОСТ ISO 20623-2013, ГОСТ 9490, FED-STD-6508</p>

<p>11. Випаровуваність - з продуванням повітря - у чашках</p> <p>12. Коксівність</p> <p>13. Колір на колориметрі ЦНТ</p> <p>14. Ступінь чистоти</p> <p>15. Фракційний склад методом випаровування</p> <p>16. Термоокиснювальна стабільність (у тонкому шарі)</p> <p>17. Слінюваність</p> <p>18. Захисні властивості в камері Г-4 та під час занурення в електроліт</p> <p>19. Працездатність оливи на редукторній установці</p> <p>20. Схильність оливи до утворення високотемпературних відкладень на приладі «плита похилої»</p> <p>21. Схильність оливи до утворення високотемпературних відкладень на установці ВЦМ</p>	<p>ASTM D972, ASTM D 5800, ГОСТ 20354</p> <p>EN ISO 10370, ASTM D524, SAE-ARP-5996, ГОСТ 8852, ГОСТ 19932</p> <p>ISO 2049, ГОСТ 20284</p> <p>ГОСТ 12275</p> <p>ГОСТ 8674</p> <p>ГОСТ 23175</p> <p>ASTM D 892, ГОСТ 21058, ГОСТ 9.054 (методи 1 і 4)</p> <p>Кваліфікаційний метод</p> <p>Кваліфікаційний метод</p> <p>Кваліфікаційний метод</p>
---	--

<p>22. Стійкість оливи до дії кисню повітря за високих температур на установці УКМ-1М</p> <p>23. Корозійна агресивність оливи методом ВІАМ (100-годинна методика)</p> <p>24. Властивості консервації</p> <p>25. Сумісність оливи і оливи з присадками</p> <p>26. Гіроскопічність (для синтетичних оливи на основі ефірів)</p> <p>27. Гідролітична стабільність (для синтетичних оливи на основі ефірів)</p> <p>28. Вміст присадок за допомогою тонкошарової хроматографії (для оливи з присадками, що визначається даним методом)</p> <p>29. Стабільність в'язкості оливи, що містять полімерні присадки (на диспергаторі УЗДН)</p> <p>30. Дія оливи на ущільнювачі гуми</p> <p>31. Прогнозування термінів зберігання</p>	<p>Кваліфікаційний метод</p> <p>Кваліфікаційний метод</p> <p>Кваліфікаційний метод</p> <p>Кваліфікаційний метод</p> <p>Кваліфікаційний метод</p> <p>Кваліфікаційний метод</p> <p>Кваліфікаційний метод</p> <p>Кваліфікаційний метод</p> <p>Кваліфікаційний метод</p> <p>Кваліфікаційний метод</p>
---	---

Товарні оливи виготовляються з сировини та із застосуванням технологічних процесів, що були використані під час отримання дослідного зразка оливи, що пройшов приймальні випробування з позитивними результатами. Методи, що входять у КМКО, призначені для отримання досить повної інформації про основні фізико-хімічні та експлуатаційні властивості та можливості даної оливи виконувати під час використання ті функції, що були передбачені під час розроблення.

Традиційні кваліфікаційні методи.

1. Метод визначення схильності олив до утворення високотемпературних відкладень на приладі «похила плита». Метод полягає в механічному періодичному (5 с/хв) наприскуванні оливи на алюмінієву пластину, нагріту до заданої (290 °С) температури, протягом 6 год із подальшим ваговим визначенням кількості відкладень (за різницею ваги пластини до і після випробування).

2. Метод визначення схильності олив для авіаційних ГТД до утворення високотемпературних відкладень на спеціальній установці. Суть методу полягає у визначенні кількості відкладень і температури початку їх утворення під час контакту циркулюючої оливи з гарячою металевою поверхнею. Оцінка оливи відбувається за двома показниками:

– індекс високотемпературних відкладень ($I_{\text{ВТО}}$), рівний відношенню кількості відкладень, отриманих під час випробування оливи, та еталонної рідини (суміш гексадекану і 1-метилнафталіну у співвідношенні 40:1);

– температура початку утворення відкладень ($t_{\text{НО}}$).

Визначення кількісних показників схильності олив до утворення СОТ ($I_{\text{ВТО}}$ і $t_{\text{НО}}$) виконується на оптичному приладі реєстрацією яскравості світла, відбитого від поверхні оцінної трубки. Максимальна температура стінки оцінної металевої трубки для олив марки «ИПМ-10» складає 240 °С, тривалість випробування – 6 год.

3. Метод оцінки стійкості олив до дії кисню повітря за високих температур на установці УКМ-1М. Схильність авіаційних олив до утворення високотемпературних відкладень

на установці УКМ-1 визначається за масою відкладень, що утворилися на внутрішній поверхні нагрітої металеві реакційної камери та вловлених фільтром установки, при окисненні киснем повітря та циркуляції оливи в системі установки.

4. Метод визначення сумісності олив. Метод полягає в оцінці досліджуваного зразка до і після витримки його за низької (мінус 40 °С, 15 год) і підвищеної (100 °С, 50 год) температурах. Сумісними вважаються оливи, що під дією температур, встановлених даною методикою, що не розшаровуються, не утворюють емульсії або осаду.

5. Метод оцінки працездатності олив для авіаційних ГТД на установці редуктора Ш-3. Метод встановлює порівняльну оцінку працездатності олив із еталонними оливами в системі зубчастих коліс за змащувальною здатністю (зношення, заїдання, втомне викришування робочих поверхонь зубів шестерень) і за ТОС оливи. Після 50-годинних випробувань оливи виконують візуальну та інструментальну оцінку стану робочих поверхонь зубів і порівнюють із допустимими встановленими нормами. Крім того, виконують зіставлення зміни фізико-хімічних властивостей досліджуваної оливи за час випробувань із властивостями свіжої оливи та окисненої оливи згідно з ГОСТ 23797 за максимально допустимої робочої температури.

6. Корозійна агресивність. Метод полягає в дослідженні дії випробовуваної оливи в рідкій та паровій фазах на металеві пластинки за підвищених температур у герметично закритих металевих контейнерах. Корозійна агресивність оцінюється за зміною ваги та станом поверхні металевих пластинок у результаті випробувань.

7. Метод прогнозування термінів зберігання олив. Суть методу полягає у визначенні хімічної та фізичної стабільності олив, за результатами яких розраховується допустимий термін зберігання.

Хімічну стабільність визначають за індукційним періодом штучного старіння олив витримкою заздалегідь зволжених зразків за підвищених температур.

Фізичну стабільність визначають центрифугуванням заздалегідь профільтрованих зразків до розшарування, помутніння або випадання гранично допустимої маси осаду.

8. Властивості консервацій. Дослідження властивостей консервацій олив для встановлення можливості їх застосування для консервації паливних систем авіаційних двигунів виконуються трьома методами.

8.1. Метод оцінки корозійної агресивності олив у контакті з металами в герметичних контейнерах. Метод призначений для визначення корозійної агресивності авіаційних олив щодо металевих матеріалів і гальванічних покриттів. Метод полягає в дослідженні дії випробовуваної оливи в рідкій та паровій фазах на металеві пластинки за підвищених температур. У процесі випробування відбувається термостаріння оливи та імітуються умови окиснення оливи під час тривалого зберігання техніки з ним.

За цим методом випробування оливи здійснюється у контакті з конструкційними матеріалами в герметичних контейнерах за температури 120 °С протягом 500 год.

Корозійна агресивність оливи оцінюється за зміною ваги й стану поверхні металевих пластинок у результаті випробувань. Корозійна агресивність оливи обчислюється як середнє арифметичне паралельних визначень. Зміна ваги пластинки до 0,005 г вважається як відсутність корозії.

8.2. Метод оцінки корозійної агресивності оливи у контакті з металами із продуванням вологим повітрям. Вказане випробування призначене для дослідження корозійної агресивності за умов підвищеної вологості й температури, що забезпечують не лише інтенсифікацію процесу корозії, але й прискорення можливого процесу гідролізу оливи та присадок, що містяться в ньому.

Дослідження олив виконуються у контакті з конструкційними матеріалами в умовах продування його вологим повітрям і повернення в реакційну посудину продуктів окиснення оливи у вигляді конденсату. Випробування виконуються в термостатах, із періодичним нагріванням до температури 90–95 °С протягом 5 год і охолодженням до кімнатної температури

циклами протягом 20 діб. Нагрівання проводиться по 5 год на добу та в сумі складає 100 год. Швидкість подачі повітря – 6 л/год.

Для випробування цим методом в реакційну посудину наливається випробовувана олива в кількості 150 мл, що достатньо для повного занурення в оливу зразків металів, підвішених за допомогою гачків скляної стійки, поміщеної в посудину. На стійці розміщуються 4 зразки: два з них занурюються в оливу, а інші два знаходяться в паровій фазі. Корозійна агресивність оцінюється за зміною ваги та стану металевих пластинок після випробування.

8.3. Метод оцінки захисних властивостей свіжої та окисненої оливи згідно з ГОСТ 9.054. Даний метод випробування дозволяє оцінити ступінь захисту металевих матеріалів випробовуваною оливою від дії атмосферної вологи. Випробування вконуються на металевих пластинах зі сталі 10 в ексикаторі при відносній вологості 98–100 % протягом трьох діб за режимом:

– 40 °С – 7 год;

– кімнатна температура – 17 год.

Випробовувана олива заздалегідь окиснюється за методом 1 (120 °С, 500 год) під час контакту з міддю – одним із найбільш ефективних каталізаторів окиснення олив. Захисні властивості кожної оливи (свіжої та окисненої) перевіряються одночасно на 5 зразках і оцінюються трафаретом за площею корозійної поразки за час випробування.

9. Метод визначення дії олив на ущільнювальні гуми. Метод полягає в оцінці властивостей гуми після витримування її протягом 72 год у нагрітій оливі ($t_{ол.} = 200$ °С), через яку безперервно барботується повітря (10 л/год). Дія оливи на гуму визначається за зміною таких фізико-механічних показників гуми: межі міцності, накопиченню залишкової деформації стискування, маси або об'єму.

10. Метод оцінки гігроскопічності олив. Суть методу полягає у визначенні масової частки вологи, поглиненої оливою при витримці його в ексикаторі з водою, що дистилує, до насичення вологою. Для виключення впливу вологи, що

міститься у вихідній оливі, другий зразок оливи піддають осушенню в ексикаторі з хлористим кальцієм. Гігроскопічність оцінюють за сумою зміни маси насиченого вологою та осушеного зразків оливи.

11. Метод оцінки гідролітичної стабільності олив. Метод дозволяє дати відносну оцінку стабільності олив під дією води та полягає у визначенні змін властивостей оливи під дією води. Суміш 75 г оливи з 25 г води після гомогенізації витримується в герметично закритих металевих стаканах у присутності мідної пластинки протягом 48 год за температури 100 ± 3 °С. Після випробування визначають кислотне число та в'язкість оливи, рН водного шару, вміст осаду та ваговий показник корозії.

12. Метод оцінки стабільності в'язкості олив, що містять в'язкісні полімерні присадки. Метод полягає у визначенні зниження в'язкості зразка оливи після дії ультразвуку на установці типу УЗДН-1 в заданих умовах (частота випромінювання 22 кГц, кількість зразка – 15 мл). Тривалість дії випромінювання на випробовуваний зразок вказується в НД на оливу.

13. Метод визначення вмісту присадок у оливі за допомогою тонкошарової хроматографії. Метод використовується для порівняльної оцінки кількості доаних до оливи (марок «МС-8П», «МС-8рк») антиокиснювальних присадок аміну та фенольного типу за допомогою тонкошарової хроматографії. Кількість тієї або іншої присадки оцінюється діаметром плями, що утворюється на спеціальній пластинці під час дії певних розчинників, інтенсивності фарбування і висоті підйому його від лінії старту.

14. Метод оцінки сумісності олив із присадками. Метод призначається для визначення сумісності однієї марки оливи для авіаційних ГТД з іншими марками олив, що використовуються на даному типі двигуна, а також для визначення сумісності між собою композиції присадок, що входять до складу оливи. Критерієм несумісності олив і присадок є поява розшарування, утворення емульсії або осаду в сумішах досліджуваних олив, приготованих у співвідношеннях 10:90; 50:50 і 90:10 і витриманих у заданих температурних умовах (за позитивних і негатив-

них температур) протягом певного часу. Поява розшаровування або утворення емульсії оцінюються візуально, кількість осаду – за ГОСТ 6370 (не повинно перевищувати 0,005 %).

За кордоном обсяг лабораторних досліджень олив для авіаційних ГТД приблизно відповідає національному. При цьому в США та Англії в більшості випадків використовуються державні стандартні методи випробувань матеріалів – ASTM (American Society for Testing and Materials) та FTMS (Federal Test Material Standard) в США та DERD TM (DERD Test Methods) в Англії.

У деяких зарубіжних країнах застосовуються американські методи дослідження олив. Показники якості зарубіжних олив і методи їх оцінки вказуються у відповідній специфікації на оливу.

Із зіставлення методів оцінки фізико-хімічних властивостей і складу олив, використовуваних у вітчизняній практиці досліджень і за кордоном, витікає, що вітчизняні стандартні методи оцінки основних фізико-хімічних властивостей (густина, в'язкість, стабільність в'язкості за низької температури, температура спалаху і застигання, кислотне число, число обмилення), як правило, ідентичні методам, що використовуються за кордоном.

Вміст механічних домішок оцінюється різними методами. При цьому вимоги до чистоти олив за кордоном постійно посилюються (специфікації постійно переглядаються).

Деякі національні показники якості олив (вміст води, зольність, коксівність, вміст водорозчинних кислот і лугів) не контролюються за кордоном, не зважаючи на наявність методів оцінки даних показників. Контроль складу вихідних олив за кордоном здійснюється з використанням сучасних аналітичних методів, що не використовуються у КМКО.

У цілому, за обов'язковими показниками якості зарубіжні специфікації дозволяють чіткіше контролювати склад вихідної оливи. Слід зазначити, що вітчизняні та зарубіжні методи оцінки найбільш важливих експлуатаційних властивостей олив за деякими показниками можуть істотно розрізнятися.

У таблиці 3.36 подано зіставлення умов оцінки експлуатаційних показників якості олив у нашій країні та за кордоном.

Термоокиснювальна стабільність оливи в об'ємі за кордоном оцінюється протягом більшого часу окиснення порівняно з стандартним методом за ГОСТ 23797. Під час перегляду специфікацій тривалість випробувань, як правило, збільшується. Крім того, в зарубіжному стандартному методі, включеному в американські специфікації, одночасно з ТОС оцінюється й корозійна агресивність оливи із застосуванням 6 металів (сталь, срібло, магній, алюміній, мідь, титан). Англійські специфікації на синтетичні складноефірні оливи включають оригінальний метод оцінки ТОС в об'ємі протягом 192 год із оцінкою температурних параметрів окиснення, тобто температури окиснення, за якої властивості оливи змінюються до певного рівня. Для олив, що виробляються за вимогами специфікації DEF STAN 91-94, оцінюється також «відносна працездатність» – час окиснення за 200 і 250 °С до певного рівня зміни властивостей оливи. Тобто якість оливи за показниками ТОС в об'ємі контролюється за кордоном досить жорстко. Специфікації не містять методи оцінки ТОС у тонкому шарі в статичних і динамічних умовах, незважаючи на наявність різноманітних методів, аналогічних вітчизняним методам. Це пов'язано з включенням в зарубіжні специфікації високотемпературних випробувань на підшипниковому стенді тривалістю 100 год, що дозволяє оцінювати ТОС олив в об'ємі та тонкому шарі за умов тертя в натурному вузлі. Вказані випробування вважаються за кордоном найбільш важливими. Саме за результатами цих випробувань висуваються вимоги до якості нових олив і здійснюється їх класифікація за температурними умовами застосування.

В існуючому КМКО немає методу оцінки термічної стабільності олив. Американські специфікації мають стандартний метод оцінки термічної стабільності та корозійної агресивності до сталі (274 °С, вакуумована ампула, 72 год).

Змащувальні властивості олив за кордоном оцінюються переважно на шестерних стендах. Випробування на ЧШМТ

в специфікації США вже не виконуються. Порівняно із зарубіжними методами випробувань на шестерних стендах, вітчизняний метод випробувань олив на установці редуктора Ш-3 більше відповідає реальним умовам застосування олив на ГТД і редукторах гелікоптерів (за навантаженнями, що використовуються, і температурами оливи на вході в трибосистему). Випробування на стенді Райдера виконується всього за 74 °С або під час ступінчастого підвищення навантаження (на $3,43 \cdot 10^{-2}$ МПа; на $0,35 \cdot 10^{-2}$ кгс/мм²) з визначенням навантаження, за якому пошкоджено 22,5 % поверхонь зубів (ASTMD 1947), або за постійного навантаження та порівняння площі пошкоджень із еталонними випробуваннями (FTM S 6508). Проте в специфікації на зарубіжні синтетичні оливи додатково включені 100-годинні високотемпературні випробування на типовому ГТД. Ці випробування, безумовно, більш трудомісткі та дорогі, ніж випробування на стенді Ш-3. Проте їх цінність полягає в тому, що фактично здійснюється комплексна оцінка якості оливи за показниками ТОС в об'ємі та тонкому шарі, за змащувальними властивостями та за сумісництвом із конструкційними й ущільнювальними матеріалами.

Сумісність із конструкційними матеріалами. У специфікації США практично не включають спеціальні випробування за оцінкою корозійноагресивності олив (за винятком олив за Mil-1-7808, для яких оцінюється протягом 1 год за 163 °С корозія свинцевої пластинки й протягом 50 год за 232 °С – мідної та срібної пластинки). Вважається достатнім випробувати оливи за показниками ТОС і корозійною агресивністю стандартним методом, а також провести 100-годинні випробування на натурному двигуні.

Англійські специфікації включають спеціальні методи оцінки корозійної агресивності (до 7 матеріалів). При цьому випробування виконуються за жорсткіших умов, ніж вітчизняними методами. Так, вихідна олива контактує з матеріалами протягом 192 год за 150 °С або 200 °С. Крім того, додатково оцінюється корозійна агресивність заздалегідь окиснених олив.

Таблиця 3.36

Оцінка основних експлуатаційних властивостей синтетичних масел для авіаційних ГТД

Найменування показника	Прийнято в Україні	Прийнято в США		Прийнято у Великій Британії
		MIL-L-7808	MIL-L-23699	
Термоокиснювальна стабільність: у об'ємі	Стандарт, 50 год t_{\max} , °C	Стандартний метод оцінки ТОС і корозійній агресивності: 175°C – 96 год, 204°C – 72 год, 200°C – 48 год, 175°C – 72 год, 200°C – 96 год, 218°C – 72 год		Оригінальний метод: – температурні параметри окиснення за 192 год; – відносна працездатність за $t = 200$ °C і $t = 250$ °C; – температурні параметри чистоти підшипників.
- у тонкому шарі в статичних умовах - у тонкому шарі в динамічних умовах	Стандарт, T_{250} а) "похила плита" б) УКМ	-	-	-
- у тонкому шарі та об'ємі під час тертя	-	підшипникові стенди (метод FTMS 3410)		-
Термічна стабільність	-	Стандартний метод FTMS 3411		-

Закінчення табл. 3.36

Змашувальні властивості	а) Стандарт, ЧШМТ	–	–	Метод JP 239
Сумісність із конструкційними Матеріалами	б) Ш-3 100 год за: $t_{\text{max}} - 50^{\circ}\text{C}$ (10 %) $t_{\text{max}} - 25^{\circ}\text{C}$ (80 %) t_{max} , (10 %) 300 год за:	шестерні стенди, випробування на двигуні (100 год) а) При оцінці ТОС	–	а) Вихідні оливи 150 °С – 192 год, 200 °С – 192 год б) Заздалегідь окиснені 250 °С – 5 год, 325 °С – 5 год і далі за режимом: а) нітрил: 192 год за 130 °С, 192 год за 200 °С б) силіконовий: 192 год за 100 °С і 175 °С
Сумісність із ущільнювальними Матеріалами	$t_{\text{max}} - 50^{\circ}\text{C}$ (10 %) $t_{\text{max}} - 25^{\circ}\text{C}$ (80 %) t_{max} , (10 %) 300 год за:	б) Рb-пластин в) Ag і Cu	– Н ¹): 72 год F ²): 72 год	а) нітрил: 192 год за 130 °С, 192 год за 200 °С б) силіконовий: 192 год за 100 °С і 175 °С
	$t_{\text{max}} - 50^{\circ}\text{C}$ (10 %) $t_{\text{max}} - 25^{\circ}\text{C}$ (80 %) t_{max} , (10 %) 300 год за:	–	за 70 °С за 204 °С	а) нітрил: 192 год за 130 °С, 192 год за 200 °С б) силіконовий: 192 год за 100 °С і 175 °С
	$t_{\text{max}} - 50^{\circ}\text{C}$ (10 %) $t_{\text{max}} - 25^{\circ}\text{C}$ (80 %) t_{max} , (10 %) 300 год за:	–	–	а) нітрил: 192 год за 130 °С, 192 год за 200 °С б) силіконовий: 192 год за 100 °С і 175 °С
	$t_{\text{max}} - 50^{\circ}\text{C}$ (10 %) $t_{\text{max}} - 25^{\circ}\text{C}$ (80 %) t_{max} , (10 %) 300 год за:	–	–	а) нітрил: 192 год за 130 °С, 192 год за 200 °С б) силіконовий: 192 год за 100 °С і 175 °С
	$t_{\text{max}} - 50^{\circ}\text{C}$ (10 %) $t_{\text{max}} - 25^{\circ}\text{C}$ (80 %) t_{max} , (10 %) 300 год за:	–	–	а) нітрил: 192 год за 130 °С, 192 год за 200 °С б) силіконовий: 192 год за 100 °С і 175 °С
	$t_{\text{max}} - 50^{\circ}\text{C}$ (10 %) $t_{\text{max}} - 25^{\circ}\text{C}$ (80 %) t_{max} , (10 %) 300 год за:	–	–	а) нітрил: 192 год за 130 °С, 192 год за 200 °С б) силіконовий: 192 год за 100 °С і 175 °С
	$t_{\text{max}} - 50^{\circ}\text{C}$ (10 %) $t_{\text{max}} - 25^{\circ}\text{C}$ (80 %) t_{max} , (10 %) 300 год за:	–	–	а) нітрил: 192 год за 130 °С, 192 год за 200 °С б) силіконовий: 192 год за 100 °С і 175 °С
	$t_{\text{max}} - 50^{\circ}\text{C}$ (10 %) $t_{\text{max}} - 25^{\circ}\text{C}$ (80 %) t_{max} , (10 %) 300 год за:	–	–	а) нітрил: 192 год за 130 °С, 192 год за 200 °С б) силіконовий: 192 год за 100 °С і 175 °С
	$t_{\text{max}} - 50^{\circ}\text{C}$ (10 %) $t_{\text{max}} - 25^{\circ}\text{C}$ (80 %) t_{max} , (10 %) 300 год за:	–	–	а) нітрил: 192 год за 130 °С, 192 год за 200 °С б) силіконовий: 192 год за 100 °С і 175 °С

¹) на основі каучуку нітрилу;
²) на основі фторованого каучуку.

Сумісність із ущільнювальними матеріалами. Зарубіжні методи передбачають оцінку лише відсотка набухання гуми після контакту з оливою за певних умов. Але в специфікації MiL-L-23699C додатково нормується зміна межі міцності на розрив. Зіставлення умов проведення випробувань показує, що, порівняно з вітчизняним методом, в американських специфікаціях випробування виконуються за більш помірних температур, а в англійських специфікаціях температури випробувань досить високі.

Необхідно також відзначити, що за кордоном активно виконуються роботи зі створення нової методології випробування оливи, особливо на нових базових основах. При цьому використовуються сучасні фізико-хімічні методи аналізу (зокрема, рідинна хроматографія), що дозволяють вивчати оливу фактично на молекулярному рівні.

3.5. Загальна методологія випробування оливи для авіаційних двигунів

Випробування оливи поділяються на приймальні й кваліфікаційні.

Приймальні випробування нових дослідних оливи виконуються з метою підтвердження відповідності якості отриманої оливи вимогам технічного завдання.

Дослідними вважаються зразки оливи, створені за новими технічними вимогами, створення яких обумовлене технічним прогресом, необхідністю розширення сировинних ресурсів, і які відрізняються за фізико-хімічними й експлуатаційними показниками.

Приймальні випробування дослідних зразків нових марок оливи для авіаційних ГТД включають такі етапи:

лабораторно-стендові (I-й етап); стендові (II-й етап); контрольно-льотні (III-й етап); експлуатаційні або експлуатація під спостереженням (IV-й етап).

Лабораторно-стендові випробування (I-й етап) виконуються з метою визначення відповідності дослідного зразка

нової оливи вимогам ТЗ на його розроблення, КМКО олив для авіаційних ГТД і редукторів гелікоптерів, додатковим показникам, що погоджені із зацікавленими організаціями, а також можливості допуску такого зразка до подальших етапів випробувань.

На лабораторно-стендові випробування надаються дослідні зразки нової марки продукту, отримані в лабораторних умовах або на дослідному заводі. Постачання зразків дослідних олив, що підлягають випробуванням, здійснюється виробником продукту. Одночасно зі зразком оливи виконавцеві випробувань надсилається нормативний документ, за яким цей продукт був отриманий, і паспорт якості з відміткою про призначення зразка «лише для проведення випробувань».

Лабораторно-стендові випробування виконуються в об'ємі вимог ТЗ, КМКО і додаткових показників, погоджених із зацікавленими організаціями.

Перший етап приймальних випробувань виконує, як правило, розробник зразка дослідної оливи за участю організацій, вказаних у КМКО.

За результатами лабораторно-стендових випробувань складається звіт, в якому наводяться результати випробувань, отримані головним виконавцем і в організаціях-співвиконавцях, висновки і заключення за ними. Звіт скеровується замовникові роботи, зацікавленим організаціям і в робочу групу наукової експертизи із рекомендаціями за результатами випробувань в обсязі I-го етапу.

Стендові випробування (II-й етап) виконуються з метою визначення можливості використання дослідного зразка нової оливи для забезпечення надійної роботи авіадвигунів та їх агрегатів, а також доцільності проведення подальших випробувань. Ці випробування проводяться на декількох серійних ГТД (для отримання порівняльних даних із використовуваними товарними оливами). При цьому з метою скорочення обсягів офіційних випробувань вибираються найбільш показові авіадвигуни – ТРД високої теплової напруженості й важконавантажені двигуни великого ресурсу об'єктів ЦА та військової техніки. У деяких випадках (під час

створення нової оливи для перспективних двигунів) допускається проведення офіційних стендових випробувань на дослідних виробках.

Результати випробувань двигуна на дослідній оливі порівнюються з результатами аналогічних за умовами випробувань на штатній оливі для даного двигуна.

Оцінка технічного стану двигуна після офіційних випробувань виконується спеціальною комісією, в яку, окрім представників розробника й виробника виробу, входять фахівці зацікавлених організацій.

Контрольно-льотні випробування (III-й етап) виконується зазвичай на серійній авіаційній техніці для оцінки особливостей роботи авіаційних виробів на дослідній оливі в заданих умовах експлуатації. Контрольно-льотні випробування виконуються експлуатуючими організаціями за офіційно затвердженою типовою програмою, тривалість цих випробувань зазвичай не перевищує 20–25 год напрацювання кожного виробу, на якому проводяться випробування. За цей час встановлюються особливості поведінки нової оливи (порівняно зі штатним) в умовах реальної експлуатації. Під час цих випробувань виконуються також аналізи оливи й повітря, що відбирається від компресора двигуна і що надходить до кабіни пілота, або в салон ЛА, з метою визначення шкідливих домішок в аналізованому повітрі та відповідності отриманих даних встановленим нормам ГДК.

Звіти з результатами контрольно-льотних випробувань скеровуються до відповідних інституцій для вирішення питання про подальші випробування.

Експлуатаційні випробування або експлуатація під спостереженням (IV-й етап) призначені для всебічної перевірки якості нової оливи, надійності роботи на ній виробів авіаційної техніки в умовах експлуатації. Цей завершальний етап офіційних випробувань дослідної оливи виконується за спеціальними програмами та зазвичай на декількох типах об'єктів авіаційної техніки.

Програми експлуатаційних випробувань виробів військової авіатехніки передбачають зазвичай погодинне напрацювання

двигунів на новій оливі (наприклад, 500 год і більше), а об'єктів ЦА – протягом певної тривалості (наприклад, 1 рік або 2 роки). При цьому для виконання експлуатаційних випробувань виділяються авіаційні вироби (двигуни, редуктори гелікоптерів) із різним залишковим міжремонтним ресурсом. Під час випробувань авіаційна техніка, що виробила міжремонтний ресурс, піддається розбиранню для оцінки технічного стану виробу та порівняння зі станом техніки, що повністю виробила міжремонтний ресурс на штатній товарній оливі. Оцінка технічного стану виробів після роботи на дослідній оливі також може виконуватись за участю комісії фахівців зацікавлених організацій. Звіти з результатами експлуатаційних випробувань скеровують у відповідні інституції для ухвалення рішення про допуск нової дослідної оливи до застосування. Тут розглядаються висновки робочої групи та зацікавлених організацій за результатами приймальних випробувань нової дослідної оливи та готує рішення про проведення подальших випробувань, допуск до виробництва та використання, а також в обґрунтованих випадках про призупинення випробувань, або про анулювання раніше виданого допуску.

Прийняте рішення затверджується вищим керівництвом національного рівня. Після прийняття рішення про допуск до виробництва та використання дослідна олива стає товарним продуктом: організовується промислове виробництво оливи, складається нормативна документація, технічний регламент, вирішуються питання забезпечення сировиною тощо.

Затверджене рішення за результатами приймальних випробувань є обов'язковим для всіх відомств, організацій та підприємств незалежно від форм власності, що продукують або здійснюють постановку на виробництво й використання даної марки оливи, а також є підставою для розроблення нормативного документа або внесення відповідної зміни до чинної нормативної документації.

На підставі цього рішення міністерства й відомства, що виробляють і експлуатують авіаційну техніку, випускають директиви та вказівки про порядок застосування оливи, що пройшла з позитивними результатами державні випробування.

Розробники та виробники авіаційної техніки самостійно приймають рішення щодо внесення відповідних змін до нормативної документації на конкретні вироби, тобто про можливість використання на цих виробах нової товарної оливи (якщо ці вироби не проходили випробувань на новій оливі під час проведення офіційних приймальних випробувань).

До дослідних олив, що вимагають проведення спеціальних випробувань і рішень про можливість застосування їх на виробах авіаційної техніки, відносяться також оливи, що пройшли раніше приймальні випробування й допущені до виробництва та використання в установленому порядку, але виготовлені зі зміною: якості сировини (наприклад, нафти) або технології виробництва базових компонентів, складу присадок, заводу-виробника оливи. Такі спеціальні випробування отримали назву кваліфікаційних.

Кваліфікаційні випробування виконуються з метою підтвердження відповідності фізико-хімічних і експлуатаційних властивостей дослідного зразка товарної оливи, але виробленої зі зміною одного з перерахованих вище чинників, вимогам нормативного документа та нормам КМКО на дану марку оливи, а також можливості допуску вказаного дослідного зразка до застосування поряд з товарною оливою.

До кваліфікаційних випробувань надаються зразки оливи, виготовлені на промислових і дослідно-промислових установках, із сировини та компонентів, що використовуються заводом-виробником.

Кваліфікаційні випробування виконуються в обсязі вимог нормативного документа та КМКО на дану марку оливи.

Обсяг кваліфікаційних випробувань в окремих випадках може бути доповнений за рішенням головної організації методами, що не входять у КМКО, але пройшли метрологічну атестацію в установленому порядку, а також дослідними методами.

Таким чином, обсяг кваліфікаційних випробувань практично збігається з обсягом приймальних випробувань нової дослідної оливи за I-м етапом. Відмінність полягає в тому, що під час кваліфікаційних випробувань потрібне підтвердження якості

досліджуваної оливи нормам НД, а під час випробувань нової оливи – нормам ТЗ. Обсяг випробувань методами КМКО не зменшується.

Кваліфікаційні випробування дослідного зразка оливи організовуються зазвичай розробником оливи.

Допущені до виробництва й використання відповідно до викладеного порядку оливи приймаються на сертифікацію. При цьому результати кваліфікаційних випробувань товарних олив можуть бути використані для оформлення декларації (сертифікату відповідності).

Система допуску олив до виробництва та використання на авіаційних ГТД покликана в загальному вигляді уніфікувати підхід до оцінки якості олив на етапі її розроблення. Такий підхід базується на активному залученні досить оперативних кваліфікаційних методів оцінки, що формуються в КМКО, що широко застосовуються у практиці. За необхідності методи, що входять у КМКО, і самі комплекси можуть із часом зазнавати різних змін, проте принцип оцінки якості дослідних зразків олив з їх допомогою зберігатиметься та удосконалюватиметься.

Зарубіжні системи випробувань також складаються з 4-х етапів: лабораторні, стендові на авіадвигунах, контрольно-льотні та експлуатаційні. Необхідно відзначити, що за кордоном допуск авіаційних олив до застосування знаходиться в компетенції фахівців різних повноважних організацій (двигунобудівних фірм, військових відомств тощо).

Зарубіжна практика показує, що за кордоном відсутній чітко регламентований перелік методів лабораторних випробувань (на I-му етапі випробувань) із нормуванням (або частковим нормуванням) показників якості. Вимоги до якості авіаційних олив за кордоном викладені в так званих специфікаціях, що деякою мірою є об'єднаним документом вимог вітчизняних НД на оливу та КМКО. За вимогами таких специфікацій різні фірми-виробники ПММ можуть виробляти свої конкретні марки олив для авіаційних ГТД. При цьому I-м етапом випробувань для отримання допуску до застосування на авіаційних ГТД є перевірка відповідності якості оливи вимогам певної специфікації.

Є національні специфікації й у Франції, але практично всі західні країни використовують вимоги до олив, викладені в специфікаціях США або Англії.

Якість зарубіжних олив оцінюється за вимогами конкретної специфікації двома видами випробувань: **апробаційними** (контроль якості товарної оливи) і **повними кваліфікаційними** (для олив, що розробляються). Лише виконання повних кваліфікаційних випробувань дозволяє сформулювати висновок про відповідність якості тієї чи іншої оливи вимогам конкретної специфікації. Необхідно зазначити, що в специфікації включені показники якості, визначувані як стандартними, так і спеціальними (оригінальними) методами випробувань.

Питання для самостійної роботи

1. Які вимоги висуваються до мастильних матеріалів для авіаційної техніки?
2. Оливосистеми ГТД та їх основні агрегати;
3. Структура оливосистеми та її функції;
4. Охарактеризуйте основні агрегати оливо системи;
5. Яке призначення олив в ГТД та умови їх застосування?
6. Від чого залежить вибір олив для авіаційних ГТД?
7. Які чинники впливають на термін заміни оливи?
8. Асортимент олив;
9. Асортимент олив для турбореактивних двигунів;
10. Асортимент олив для турбогвинтових двигунів;
11. Асортимент олив для газотурбінних двигунів і редукторів вертольотів;
12. Фізико-хімічні та експлуатаційні властивості олив;
13. Які основні зарубіжні фірми виготовляють мінеральні авіаційні оливи та специфікації на них?
14. Які ви знаєте зарубіжні синтетичні авіаційні оливи та специфікації для них?
15. Який порядок допуску олив до використання під час експлуатації авіаційних ГТД?
16. Взаємозамінюваність олив;
17. На підставі яких матеріалів встановлюється еквівалентність вітчизняних і зарубіжних марок олив?
18. Які відмінності мають зарубіжні оливи порівняно з вітчизняними?
19. Які методи дослідження властивостей олив ви знаєте?
20. Які традиційні кваліфікаційні методи ви знаєте і в чому їх суть?

РОЗДІЛ 4

ВЛАСТИВОСТІ ТА ЯКІСТЬ ГІДРАВЛІЧНИХ ОЛИВ

Гідравлічні оливи (робочі рідини для гідравлічних систем) є другою найважливішою групою ММ після моторних олив. На їх частку доводиться приблизно до 15 % загального об'єму споживання товарних олив.

Гідравлічна техніка та рідини підрозділяються на гідростатичні та гідродинамічні системи. У гідростатичних системах передача енергії здійснюється через високий тиск за малої швидкості руху рідини. У гідродинамічних використовується кінетична енергія текучої рідини, тобто низький тиск і висока швидкість течії. Рідина є найважливішим елементом гідравлічної системи та її слід розглядати як елемент машин і механізмів під час проектування й експлуатації техніки.

Сучасну гідравліку розділяють для трьох основних сфер застосування: стаціонарної, мобільної та авіаційної, оскільки в кожній існують свої вимоги до гідравлічних систем і рідин.

4.1. Загальна характеристика, технічні вимоги, функції та призначення

Основною функцією робочих рідин (рідких середовищ) для гідравлічних систем є передавання механічної енергії від її джерела до місця використання зі зміною значення або вектору прикладення сили.

Гідравлічний привід не може діяти без рідкого робочого середовища, що є необхідним для будь-якої гідравлічної системи. У перманентному вдосконаленні конструкцій гідроприводів спостерігаються такі тенденції:

- підвищення робочих тисків і пов'язане з цим розширення верхніх температурних меж експлуатації робочих рідин;

- зменшення загальної маси приводу або збільшення відношення потужності, що передається, до маси, що зумовлює інтенсивнішу експлуатацію робочої рідини;

- зменшення робочих щілин між деталями робочого органу (вихідної та приймальної порожнини гідросистеми), що підвищує вимоги до чистоти робочої рідини (або її фільтрованості за наявності фільтрів у гідросистемах).

Основні функції гідравлічних рідин:

- передавання енергії тиску та кінетичної енергії;
- передавання тиску та крутного моменту під час використання рідини як оливи;

- зменшення зношування поверхонь ковзання в умовах граничного тертя;

- мінімізація тертя;

- застосування в широкому діапазоні температур;

- збільшення термінів експлуатації машин і обладнання.

До 70 % невідповідностей у роботі гідравлічних систем виникає через якість оливи. Третина цих невідповідностей пов'язана з неправильним підбором самої оливи, дві третини – з чистою оливи та якістю фільтрувальних елементів.

Проблеми, що виникають під час експлуатації гідравлічних систем, зазвичай, викликані наступними чинниками:

- відсутність регламентного технічного обслуговування. Сюди входить: порушення періоду заміни оливи, очищення гідравлічної системи, заміни фільтроелементів, усунення витікання перевірки відповідності технічних параметрів гідравлічної системи (тиск, витрата, рівень оливи);

- неправильний вибір робочої рідини – застосування олив з характеристиками, що не відповідають режиму експлуатації;

- застосування комплектуючих, що не відповідають вимогам і параметрам системи. Наприклад, таких деталей, як: фільтроелементи, ущільнення, рукави високого тиску;

- невірне налаштування гідравлічної системи – клапанів, регуляторів насосів, реле тисків.

У табл. 4.14 наведено інформацію щодо причин невідповідностей, що часто трапляються в роботі гідравлічних систем, пов'язаних з якістю оливи та способів їх усунення.

Таблиця 4.37

Відмови гідравлічних систем та способи їх усунення

Найменування невідповідності	Причина	Метод усунення
Олива мутна	Повітря в системі	Визначити та локалізувати місце проникнення повітря
	Олива емульсована (потрапляння води тощо)	Дати оливі відстоятися, визначити та усунути місця попадання забруднювачів. Якщо олива не відстоюється, підключити центрифугу
Вода в оливі	Нещільність в теплообміннику	Відстояти, злити воду, перевірити вміст води, підключити центрифугу, замінити оливу у випадку необхідності
	Висока вологість довкілля (весна, осінь)/потрапляння води через ущільнення	Відстояти, злити воду, перевірити вміст води, підключити центрифугу, замінити оливу у випадку необхідності. За високої вологості (якщо дозволяє резервуар, герметизувати його, створивши

Продовження табл. 4.37

Вода в оливі		всередині надлишковий тиск (герметизуйте, коли рівень в резервуарі на найнижчій відмітці)
Піна в оливному баку	Повітря в системі	Перевірити та локалізувати місця потрапляння повітря. Підсмоктування повітря зі всмоктуючої гідролінії
	Низький рівень оливи	Долити оливу
	Неправильне розташування перегородок у резервуарі	Провести ревізію та змінити конструкцію. За необхідності встановити додаткові перегородки
	Забруднення оливи	Замінити фільтро-елемент і оливу, за необхідності
Потемніння оливи або запах згорівшої оливи	Повітряні мікробульбашки при різкому стисненні в насосі або підшипнику самозаймаються (дизельний ефект) і утворюються сажеві коксоподібні відклади	Фільтрувати (використовуючи фільтр 5 мкм). Вжити заходи, що будуть запобігати потраплянню повітря в систему
	Ущільнювачі/сальники перегріваються та забруднюють оливу продуктами горіння гуми (ущільнюючого матеріалу)	Фільтрувати (використовуючи фільтр 5 мкм). Усунути причину перегрівання ущільнень (зазвичай надто велике зусилля затяжки)

Продовження табл. 4.37

Неприємний запах	Забруднення оливи стороною рідиною з запахом	Локалізувати місце потрапляння забруднення або іншої рідини
	Перегрівання оливи, що призводить до руйнування присадок	Встановити причину та запобігти перегріванню
Повітря в гідравлічній оливі (аерація)	Надто низький рівень оливи в баці	Долити оливу
	Зливна лінія в баці над рівнем оливи	Розмістити зливну лінію під рівнем оливи
	Олива не відповідає рекомендаціям виробників	Використовувати оливу, що відповідає технічним вимогам виробників
	Ущільнення валу насосу зношене або пошкоджене	Змінити ущільнення
	З'єднання всмоктувальної лінії пропускає повітря	Підтягнути з'єднання або замінити його
	Пористість всмоктувального шлангу	Замінити шланг
Корозія чорних металів	Вільна вода в системі	Відстояти, злити воду, перевірити вміст води, підключити центрифугу, замінити оливу (за необхідності)
	Кислота в системі (потрапляння зі сторони або внаслідок окиснення оливи)	Замінити оливу, встановити та локалізувати місце можливого потрапляння кислоти

Закінчення табл. 4.37

Корозія чорних металів	Неправильний тип оливи (без антикорозійних властивостей)	Замінити оливу на іншу, що відповідає технічним характеристикам
Корозія кольорових металів/срібла	Неправильний тип оливи (звичайна олива класу DIN 51524 – HLP, коли потрібна олива категорії Zn-Free (ZF))	Замінити оливу на оливу категорії ZF
	Поява кислот у складі	Замінити оливу
Лакові відкладення та бруд	Надто висока температура – відбувається окиснення	Замінити на синтетичну оливу
	Забруднена олива	Визначити та усунути джерело забруднення
	Локальні лакові відклади на зношених деталях, внаслідок високих температур, що розвиваються при продавлюванні оливи через неущільнені місця (щілини), що мають тенденцію збільшуватися	Замінити зношені деталі
Зношування компонентів	Тверді частинки в оливі	Встановити місця забруднень, локалізувати їх потрапляння

Для виконання вимог, зумовлених викладеними тенденціями розвитку гідроприводів, запобігання виникнення невідповідностей з метою забезпечення їх функціональних характеристик сучасні гідравлічні оливи повинні відповідати наступним технічним вимогам:

- оптимальний рівень в'язкості та задовільні в'язкісно-температурні властивості у широкому діапазоні температур, тобто високий ІВ;

- високі антиокиснювальний потенціал, окиснювальна та термічна стабільність;

- задовільні антикорозійні властивості та інертність до металів;
- сумісність з металами й еластомерами;
- задовільна аераційна здатність;
- низьке спінювання;
- задовільна фільтрованість;
- задовільне водовідокремлення;
- задовільна стійкість до зрушення для неньютонівських рідин.

Важливими також є вимоги пожежобезпеки та екологічні характеристики, низька займистість, токсикологічна нешкідливість, низька випаровуваність через низький тиск насиченої пари тощо.

4.2. Класифікація гідравлічних олиव

Для класифікації гідравлічних рідин використовуються як національні, так і міжнародні стандарти.

Гідравлічні рідини прийнято систематизувати на нафтові, синтетичні та водно-гліколеві. За призначенням їх поділяють відповідно до сфери застосування:

- для ЛА, мобільної наземної, річкової та морської техніки;
- для гідрогальмівних і амортизаційних пристроїв різних машин;
- для гідроприводів, гідропередач і циркуляційних оливних систем різних агрегатів, машин і механізмів, що становлять обладнання промислових підприємств.

Згідно з ГОСТ 17479.3 (аналог міжнародного стандарту ISO 6743.4) рідини на основі мінеральних олив розрізняють за двома класифікаційними ознаками: кінематичною в'язкістю та експлуатаційними властивостями. За значенням кінематичної в'язкості за температури 40 °С гідравлічні оливи поділяють на десять класів (табл. 4.38), що умовно об'єднують в три групи: малов'язкі, середньов'язкі та високов'язкі, відповідно, з 5 по 15, з 22 по 32 і з 46 по 150.

Найбільш поширеними на українському ринку є гідравлічні оливи з класом в'язкості 32, 46, 68.

Таблиця 4.38

**Класифікація гідравлічних олив за в'язкістю
за температури 40 °С**

Клас в'язкості	Кінематична в'язкість за температури 40 °С, мм ² /с	Клас в'язкості	Кінематична в'язкість за температури 40 °С, мм ² /с
5	4,14–5,06	32	28,80–35,20
7	6,12–7,48	40	41,40–50,60
10	9,00–11,00	68	61,20–74,80
15	13,50–16,50	100	90,00–110,00
22	19,80–24,20	150	135,00–165,00

Залежно від експлуатаційних властивостей та складу (наявності відповідних функціональних присадок) гідравлічні оливи поділяють на три групи А, Б і В.

Група А (група НН згідно з ISO) – нафтові оливи без присадок, що застосовуються у малонавантажених гідросистемах з шестеренчастими або поршневіми насосами, що працюють за тиску до 15 МПа та максимальної температури оливи в об'ємі до 80 °С.

Група Б (група НL згідно з ISO) – нафтові оливи з антиокиснювальними та антикорозійними присадками. Призначені для середньонапружених гідросистем з різними насосами, що працюють за тиску до 25 МПа та температури оливи в об'ємі не вище 90 °С.

Група В (група НМ згідно з ISO) – добре очищені оливи з антиокиснювальними, антикорозійними та протизношувальними присадками. Призначені для гідросистем, що працюють за тиску до 35 МПа та температури оливи в об'ємі понад 90 °С (але не вище їх температури спалаху).

Загущені в'язкісними полімерними присадками гідравлічні оливи відповідають групі НV згідно з ISO 6743.4.

Відповідно до вимог класифікації ISO 6074 гідравлічні оливи з нафтової сировини, що використовуються в гідравлічних системах, об'єднані в групу Н, що в свою чергу поділяється на 4 категорії залежно від складу олив і основної галузі їх застосування. Сучасну класифікацію гідравлічних олив за міжнародними стандартами наведено в табл. 4.39.

Таблиця 4.39

**Узагальнена систематизація гідравлічних олив
за стандартами ISO 6743.4 і DIN 51502**

Категорія		Склад	Класи в'язкості	Рекомендована сфера застосування
ISO 6743.4	DIN 51502			
Традиційні оливи на мінеральній основі				
НН	Н	Рафінати нафтових олив	10, 15, 22, 32, 46, 68, 100, 150	Гідросистеми з шестерінчастими поршневыми насосами, що працюють під тиском до 15 МПа і за температури оливи в об'ємі до 80 °С
НL	НL	Рафінати нафтових олив з антикорозійною та антиокиснювальною присадкою	10, 15, 22, 32, 46, 68, 100, 150	Гідросистеми з насосами усіх типів, що працюють під тиском до 25 МПа і за температури оливи в об'ємі понад 80 °С
НМ	НLР	Рафінати нафтових олив з антикорозійною, антиокиснювальною та протизношувальною присадкою	10, 15, 22, 32, 46, 58, 100, 150	Гідросистеми з насосами усіх типів, що працюють під тиском понад 25 МПа і за температури оливи в об'ємі понад 90 °С
–	НZF	Оливи НL з протизношувальними присадками без цинку	–	–
–	НLРD	Оливи НМ з мийними та диспергуючими присадками	–	–

Продовження табл. 4.39

HV	HVLP	Рафіна́ти нафтових оли́в з антикорозійною, антиокиснювальною та протизи́ношува́льною присадка́ми. IB (VI) > 130	15, 22, 32, 46, 68, 100	Гідросистеми з насосами усіх типів, що працюють під тиском понад 25 МПа і за температури оливи в об'ємі більше 90 °С
–	HVLPD	Оливи НМ з IB (VI > 130) і мийними диспергуючими присадками	–	Гідравлічні системи, що зазнають впливу стрімких перепадів температури та з можливістю утворення конденсату
Синтетичні оливи				
HS	HS	Синтетичні рідини зі специфічними характеристиками щодо займання та без особливих вогнестійких властивостей	–	Спеціальне застосування в гідростатичних системах, що пом'якшують удар. Температура застосування від мінус 35 до 120 °С
Вогнестійкі рідини				
HF	–	–	–	–
HFA-E	HFA	20 % емульсія «олива у воді» (20 % оливи)	–	–
HFA-S	HFA	Водні розчини із синтетичною основою	–	–
HFB	HFB	60 % емульсія «олива у воді»	–	–
HFC	HFC	Водні розчини полімерів (35–55 % води)	–	–
HFD	HFD	Безводні синтетичні рідини	–	–
HFD-R	–	Безводні рідини на основі ефіру фосфорної кислоти	–	–
HFD-U	–	Безводні рідини на основі інших синтетичних ефірів	–	–

Екологічно безпечні рідини				
НЕТ G	–	Рідини на основі рослинних олій (тригліцериди)	–	–
НЕСС	–	Рідини на основі складних синтетичних ефірів	–	–
НЕР G	–	Рідини на основі полігліколю	–	–
НЕPR	–	Рідини на основі полі-альфа- олефінів і інших вуглеводнів	–	–

Позначення гідравлічних олів складається з групи знаків, перша з яких позначається літерами «МГ» (мінеральна гідравлічна), друга група знаків позначається цифрами та характеризує клас кінематичної в'язкості; третя – позначається буквами та вказує на приналежність оливи до групи за експлуатаційними властивостями. У табл. 4.40 подано позначення гідравлічних олів існуючого асортименту відповідно до класифікації ГОСТ 17479.3. Окрім суто гідравлічних олів подаються оливи марок «А», «Р», «МГТ», що зараховані до категорії трансмісійних олів для гідромеханічних передач. Однак завдяки високому індексу в'язкості, задовільним низькотемпературним і експлуатаційним властивостям і через відсутність гідравлічних олів такого рівня в'язкості вони також використовуються в гідрооб'ємних передачах і гідросистемах навісного обладнання наземної техніки.

За в'язкісними властивостями гідравлічні оливи умовно поділяють на такі:

- малов'язкі – класи в'язкості від 5 до 15;
- середньов'язкі – класи в'язкості 22 і 32;
- в'язкі – класи в'язкості від 46 до 150.

Таблиця 4.40

Позначення гідравлічних олив

Позначення оливи згідно з ГОСТ 17479.3	Товарна марка	Позначення оливи згідно з ГОСТ 17479.3	Товарна марка
«МГ-5-Б»	«МГЕ-4А», «ЛЗ-МГ-2»	«МГ-22-В»	«Р»
«МГ-7-Б»	«МГ-7-Б», «РМ»	«МГ-32-А»	«ЭШ»
«МГ-10-Б»	«МГ-10-Б», «РМЦ»	«МГ-32-В»	«А», МГТ
«МГ-15-Б»	«АМГ-10»	«МГ-46-В»	МГЕ-46В
«МГ-15-В»	«МГЕ-10А», «ВМГЗ»	«МГ-68-В»	МГ-8А (М8-А)
«МГ-22-А»	«АУ»	«МГ-100-Б»	ГЖД-14с
«МГ-22-Б»	«АУП»		

Класифікація гідравлічних олив за в'язкістю базується на показниках в'язкості за температури 40 °С (ГОСТ 17479.3), тому гідравлічні оливи поділяють на 10 класів (5, 7, 10, 15, 22, 32, 46, 66, 100, 150), гармонізованих за характеристиками ідентичних відповідних класів ISO VG згідно з ISO 3448. Класи в'язкості гідравлічних олив подано в табл. 4.41.

Таблиця 4.41

Класи в'язкості гідравлічних олив за ГОСТ та ISO

Класи в'язкості		Кінематична в'язкість за температури 40 °С мм ² /с(сСТ)
ISO 3448	ГОСТ 17479. 3	
5	5	4,14–5,06
7	7	6,12–7,48
10	10	9,00–11,00
15	15	13,50–16,50
22	22	19,80–24,20
32	32	28,80–35,20
46	46	41,40–50,60
68	68	61,20–74,80
100	100	90,00–110,00
150	150	135,00–165,00

Класифікація гідравлічних рідин на основі мінеральних олів, згідно DIN 51502 та ISO 6743.4 наведена в таблиці 4.42.

Вогнестійкі гідравлічні рідини характеризуються більш високими температурами займання й тому забезпечують більш високу вогнестійкість у порівнянні з мінеральними оливами. Вони широко використовуються в гідравлічних системах гірничорудного устаткування, металургійних і нафтохімічних підприємств, а також в авіації.

Таблиця 4.42

**Класифікація гідравлічних рідин на основі мінеральних олів
(згідно з DIN 51502 та ISO 6743.4)**

Категорія (символ)		Склад і типові характеристики	Сфера застосування та робочі температури
DIN	ISO-L		
–	HH	Неінгібовані очищені мінеральні оливи	Гідравлічні системи без спеціальних вимог (рідко застосовуються на тепер). Від мінус 10 до 90 °С
HL	HL	Очищені мінеральні оливи з поліпшеними антикорозійними та антиокиснювальними властивостями	Гідростатичні приводні системи з високим термічним навантаженням, що потребують хорошого водовідділення. Від мінус 10 до 90 °С
HLP	HM	Оливи HL типу з поліпшеними протизношувальними властивостями	Загальні гідравлічні системи, з високо навантаженими компонентами, що потребують хорошого водовідділення. Від мінус 20 до 90 °С
–	HR	Оливи HL типу з присадками для поліпшення в'язкісно-температурних характеристик	Широкий діапазон робочих температур з HL оливами. Від мінус 35 до 120 °С
HVLP	HV	Оливи типу HM з присадками для поліпшення в'язкісно-температурних характеристик	Гідростатичні силові установки в будівельній та морській техніці. Від мінус 35 до 120 °С

Закінчення табл. 4.42

–	HS	Синтетичні рідини зі специфічною з особливими характеристиками за спалахом і без специфічних вогнестійких властивостей	Спеціальне застосування в гідростатичних системах, спеціальні властивості. Від мінус 35 до 120 °С
–	HG	Оливи типу НМ з присадками для запобігання переривчастого тертя	Машини з комбінованими гідравлічними системами змащування направляючих підшипників ковзання, де вібрація та переривчасте ковзання за малої швидкості повинно бути зведене до мінімуму. Від мінус 30 до 120 °С
HLPD	–	Оливи типу НМ з DD присадками, що зменшують тертя	Гідростатичні приводні механізми з високим термічним навантаженням, для яких необхідні протизадирні, протизношувальні присадки. DD присадки утримують забруднюючі домішки в суспензії, наприклад, верстатне обладнання мобільне гідравлічне обладнання.
<p>Примітка.</p> <p>Категорія L – мастильні матеріали. Індустріальні оливи та споріднені продукти;</p> <p>Категорія Н – гідростатичні гідравлічні системи.</p>			

Вогнестійкі гідравлічні оливи класифікують відповідно до DIN 51 502, ISO 6743.4 і 7-м Люксембурзьким протоколом. У цих документах приведені фізичні характеристики різних типів рідин, їх вогнестійкості та технічні специфікації (табл. 4.43).

Принципова класифікація вогнестійких рідин в цих стандартах така:

- HEAE: емульсії «олива у воді» (на основі мінеральних олив);
- HFAS: синтетичні розчини на водній основі (на основі складних ефірів і/або полігліколів);
- HFC: розчини мономерів і полімерів (на основі полігліколів);
- HFD: безводі рідини (на основі складних ефірів).

Таблиця 4.43

Класифікація вогнестійких гідравлічних олив

Категорія згідно з DIN 51 502 та ISO 6743/4	Склад і типові характеристики	Галузь застосування та робочі температури
Водовмісні вогнестійкі гідравлічні рідини (оливи)		
HEAE	Емульсії «олива в воді», мінеральна олива або синтетичний складний ефір. Вміст води > 80 %	Передавання потужності, біля 300 атм, високі робочі тиски, силовий опір покришок
HFAS	Водні синтетичні хімічні розчини, що не містять мінеральних олив. Вміст води > 80 %	Гідростатичні приводи, біля 160 атм, низькі робочі тиски. Від 5 до < 55 °С
HFB	Емульсії «вода в оливі». Вміст мінеральної оливи біля 60 %	У Британській вугільній промисловості. Не дозволені в Німеччині. Від 5 до 60 °С
HFC	Водні розчини полімерів. Вміст води >35 %	Гідростатичні приводи, що застосовуються в індустріальних пристроях і в шахтах. Від 5 до 60 °С

Безводні синтетичні вогнестійкі гідравлічні рідини (оливи)		
HFDR	Поліалкіленгліколі, розчинні у воді	Гідростатичні приводи, наприклад, гідравлічні системи шлюзів на каналах. Від мінус 30 до < 90 °С (температура в резервуарах від мінус 20 до 80 °С)
HFDL	Безводні синтетичні рідини іншого складу (наприклад, складні ефіри карбонових кислот)	Гідростатичні приводи, індустриальні гідравлічні системи. Від мінус 35 до < 90 °С

Гідравлічні (технічні) рідини (оливи), зазвичай, складаються з базової рідини (базової оливи) і присадок рідного функціонального призначення. Якість і технічні характеристики гідравлічної рідини безпосередньо залежать від вживаних в ній базової рідини та присадок.

Біорозщеплювані гідравлічні рідини (оливи) були створені для відповідності екологічним вимогам під час використання в стаціонарних і мобільних системах. Вимоги до цих рідин регламентуються стандартами: VDMA 24 568, VDMA 24 569, ISO 6743 та ISO 15380 (табл. 4.44).

Принципова класифікація біорозщеплюваних рідин (олив) в цих стандартах така:

- HETG: тригліцерид (нерозчинні у воді, на основі рослинних олив);
- HEES: синтетичні складні ефіри (нерозчинні у воді);
- HEPG: полігліколі (водорозчинні);
- HEPR: поліальфаолефіни та споріднені вуглеводневі продукти.

Таблиця 4.44

Безводні швидко біорозщеплювані гідравлічні рідини (оливи)

Категорія згідно з VDMA 24568 та ISO 15380	Склад і типові характеристики	Галузь застосування та робочі температури
HEPG	Поліалкіленгліколі, розчинні у воді	Гідростатичні приводи, наприклад, гідравлічні системи шлюзів на каналах. Від мінус 30 до < 90 °С (температура в резервуарах від мінус 20 до 80 °С)
HETG	Тригліцериди (рослинні олії), нерозчинні у воді	Гідростатичні приводи, наприклад, мобільні гідравлічні системи. Від мінус 20 до < 70 °С (температура в резервуарах від мінус 10 до 70 °С)
HEES	Синтетичні складні ефіри (нерозчинні у воді)	Гідростатичні приводи, мобільні та індустріальні гідравлічні системи. Від мінус 30 до < 90 °С (температура в резервуарах від мінус 20 до 80 °С)
HEPR	ПАО і/або споріднені вуглеводні, нерозчинні у воді	Гідростатичні приводи, мобільні та індустріальні гідравлічні системи. Від мінус 35 до < 80 °С (температура в резервуарах від мінус 30 до 100 °С)

Більшість масових марок гідравлічних рідин продукують на основі добре очищених базових олив, що одержують з нафтових фракцій з використанням сучасних технологічних процесів екстракційного та гідрокаталітичного очищення.

4.3. Склад і якість гідравлічних оливо

Для виробництва товарних гідравлічних оливо як базові оливи застосовують мінеральні оливи нафтових фракцій, що отримуються з використанням технологічних процесів екстракційного та гідрокаталітичного очищення. Найчастіше використовують оливи парафінової та нафтоєвої основи або їх суміші.

У складі вогнестійких гідравлічних оливо використовують синтетичні рідини на основі оливо гідрокрекінгу (НС-оливо або оливо III групи), ПАО, ефірних оливо або полігліколів.

Натуральні рослинні олії часто застосовують у біорозщеплюваних рідинах, а білі оливи, ПАО та полігліколі в гідравлічних рідинах харчового сорту.

Оцінка якості гідравлічних оливо виконується за переліком показників, наданих у табл. 4.45.

Таблиця 4.45

Методи оцінки гідравлічних оливо

Найменування показників, одиниці вимірювання	Метод випробування
Кінематична в'язкість за 40 °С, мм/с ²	ASTM D445
Температура спалаху, °С	ASTM D92
Густина, г/мл	IP365
Температура застигання, °С	ASTM D92
Лужне число, мг КОН/г	ASTM D664
Деаерація	ASTM D892
Деемульгування, хв	D1401
Окиснюваність, мг КОН/г	ASTM D4310
Антикорозійна стійкість	ASTM D6654
Протизношувальні властивості, FZG	DIN 51354-2
Фільтрація, %	ISO 13357-1,2
Вміст води, %	ASTM D 6304
Мідна корозія	ASTM D 130
Зольність	ISO 6245
Клас чистоти	ISO 4406
Сумісність з матеріалами	DIN 53538-1

Клас чистоти за ISO 4406, NAS 1638, ДСТУ ГОСТ 17216-2004, визначає тверді забруднення у вигляді бруду, пилу, продуктів зношування та інших часток, що є головною причиною зношування й неполадок гідросистем і устаткування. Дрібні отвори в серво-, пропорційних і електромагнітних клапанах гідравлічних систем можуть бути легко заблоковані таким забрудненням. Зі збільшенням зношування розмір і концентрація часток зношування збільшується. Досліджуючи ці частки, можна багато що припустити про стан механізму.

Норма чистоти за ISO – це найпоширеніший метод підрахунку часток в мастильних матеріалах. Існує багато різних типів лічильників часток, починаючи з невеликих переносних приладів і закінчуючи великим лабораторним устаткуванням. Внаслідок дослідження таких часток можна багато що дізнатися про стан обладнання.

Нормативні документи, що визначають цей показник:

ДСТУ ГОСТ 17216-2004 «Чистота промислова. Класи чистоти рідин» – є найбільш поширеним. Визначає міру забрудненості робочої рідини за розміром часток і за масою забруднень, що ставить під сумнів його практичну цінність, оскільки в одній і тій самій кількості забруднень за масою можуть міститися різні за своєю природою і розміром частки. Розмір часток оцінюється по певних діапазонах. Кожному діапазону привласнюється своє класифікаційне число, максимальне з яких і стає класом чистоти (табл. 4.46). Розрахунок кількості часток здійснюється для об'єму в 100 см³;

ISO 4406-1999 «Hydraulic fluid power. Fluids. Method for coding the level of contamination by solid particles».

На сьогодні підприємства металургії, енергетики та машинобудування оснащуються імпортним гідравлічним устаткуванням. Тому сучасні гідравлічні оливи повинні задовольняти вимоги міжнародного стандарту ISO 4406, яким керуються у більшості галузей промисловості.

До 1999 р. стара, вже скасована, версія ISO 4406 допускала розрахунок часток розміром 5 і 15 мкм (табл. 4.47). Починаючи

з 1999 р. в новій версії цього стандарту враховується число часток більших ніж 4,6 і 14 мкм.

Відповідність кількості часток і класифікаційних чисел вказана в табл. 4.48. Розрахунок кількості часток здійснюється для об'єму в 1 см³. При співставленні розрахунків кількості часток, виконаних за ISO 4406 з ДСТУ ГОСТ 17216-2004 і NAS 1638 необхідно порівняння виконувати в еквівалентних об'ємах;

NAS 1638 (National Aerospace Standard). Вимоги до чистоти в авіаційних гідравлічних системах були розроблені ще в 1960 р. для оцінки забруднень робочих рідин, вживаних в авіаційній гідравліці. Ще даний тест називають «Тест Омега». Він був розроблений на базі випробувань на зношування, що виконуються в Оклахомском університеті (USA). Допускає собою розрахунок кількості часток в 100 см³ у заданому діапазоні майже такому самому, як і в ДСТУ ГОСТ 17216-2004, також максимальне класифікаційне число стає класом чистоти (табл. 4.48);

ASTM D 5182 – FZG. Протизношувальні властивості на обладнанні FZG. Випробування FZG використовується під час розроблення промислових ММ для трансмісій або для зубчастих передач, гідравлічних рідин і рідин для автоматичних трансмісій з метою відповідності технічним вимогам різних виробників. Під час випробування оцінюють схильність ММ з невеликим вмістом протизадирних присадок до «утворення задирів і подряпин». Мастильні матеріали, що містять високий рівень протизадирних присадок, можуть не відповідати вимогам цього випробування.

Для виконання випробування FZG потрібна наявність двох зубчастих передач, розташованих у вигляді квадрата, з електроприводом, що забезпечує постійну швидкість 1450 об/хв. Системи зубчастих передач занурюють у випробовуваний мастильний матеріал і запускають, поступово збільшуючи навантаження. На кожній стадії навантаження випробування призупиняють і візуально обстежують шестерні на наявність подряпин або задирів. Якщо на шестернях не виявиться слідів задирів або подряпин, зубчасті передачі знову збирають і продовжують випробування з наступною стадією навантаження. Випробування

може складатися максимум з 13 стадій навантаження. За допомогою методу візуальної оцінки визначаються ушкодження шестерні, на якій більше 20 % бокової поверхні шестерні, що несе, ушкодилося від подряпин і/або задирів. Згідно з технічними вимогами до гідравлічних рідин вони повинні витримати 10 стадій випробувань;

Таблиця 4.46

Залежність класу чистоти рідин від кількості часток забруднень

Класи чистоти рідин	Кількість частинок забруднювача в (100±0,5) мл рідини за розміру частинок, мкм, не більше									Маса забруднювача, %, не більше	
	від 0,5 до 1	вище 1 до 2	вище 2 до 5	вище 5 до 10	вище 10 до 25	вище 25 до 100	вище 25 до 50	вище 100 до 200	Волокна		
00	800	400	32	8	4	1		АО		Не нормується	
0	1600	800	63	16	8	2	відсутність	АО			
1	Не нормується	1600	125	32	16	3	відсутність				відсутність
2		Не нормується	Не нормується	250	63	32		4	1		
3				125	63	8	2				
4				250	325	12	3				
5				500	250	25	4	1			
6				1000	500	50	6	2	1		0,000032
7				2000	1000	100	12	4	2		0,000064
8				4000	2000	200	25	6	3		0,000125
9				8000	4000	400	50	12	4		0,00025
10				16000	8000	800	100	25	5		0,0005
11	31500			16000	1600	200	50	10	0,001		
12	63000	31500	3150	400	100	20	0,002				
13			63000	6300	800	200	40	0,004			
14				125000	12500	1600	400	80	0,008		
15					25000	3150	800	160	0,016		
16					50000	6300	1600	315	0,032		
17						12500	3150	630	0,064		

Примітки. 1) «Відсутність» вказує, що при взятті однієї проби рідини частки заданого розміру не виявлені або під час взяття декількох проб загальне число виявлених часток менше числа взятих проб. 2) «АВ» – абсолютна відсутність часток забруднювача. 3) Залежність класу чистоти рідин від маси забруднювача, що міститься в ній, з врахуванням числа часток забруднювача в рідині є довідковою. Маси приведені для часток забруднювача з середньою щільністю $4 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$ і густиною рідини $1 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Таблиця 4.47

Класи чистоти за ISO 4406

Кількість частинок в 1 мл рідини		
Більше ніж	Включно до	Класифікаційне число (R)
80,000	160,000	24
40,000	80,000	23
20,000	40,000	22
10,000	20,000	21
5,000	10,000	20
2,500	5,000	19
1,300	2,55	18
640	1,300	17
320	640	16
160	320	15
80	160	14
40	80	13
20	40	12
10	20	11
5	10	10
2,5	5	9
1,3	2,5	8
0,64	1,3	7
0,32	0,64	6
0,16	0,32	5
0,08	,16	4
0,04	0,08	3
0,02	0,04	2
0,01	0,02	1

Таблиця 4.48

NAS 1638 (National Aerospace Standart).**Вимоги до чистоти в авіаційних гідравлічних системах**

Залежність класу чистоти рідин від кількості часток забруднень					
Клас	Розмір часток в мкм /100 мл				
	5-15	15-25	25-50	50-100	>100
00	125	22	4	1	0
0	250	44	8	2	0
1	500	89	16	3	1

Закінчення табл. 4.48

2	1000	178	32	6	1
3	2000	356	63	11	2
4	4000	712	126	22	4
5	8000	1425	253	45	8
6	16000	2850	506	90	16
7	32000	5700	1012	180	32
8	64000	11400	2025	360	64
9	128000	22800	4050	720	128
10	256000	45600	8100	1440	256
11	512000	91200	16200	2880	512
12	102400	182400	32400	5760	1024

Зведеною таблицю відповідності класів чистоти з прийнятих зараз стандартів визначення чистоти гідравлічної оливи (табл. 4.49).

Таблиця 4.49

**Відповідність класів чистоти за ДСТУ ГОСТ 17216-2004,
ISO 4406, NAS 1638 для гідравлічних рідин**

Відповідність стандартів класів чистоти		
ДСТУ ГОСТ	ISO 4406	NAS 1638
00	6/5/2	-
0	7/5/3	-
1	8/6/4	-
2	9/7/5	00
3	-/8/6	0
4	-/9/7	1
5	-/10/8	2
6	-/11/9	3
7	-/12/9	4
8	-/13/10	5
9	-/14/12	6
10	-/15/13	7
11	-/16/13	8
12	-/17/14	9

13	-/18/16	19
14	-/19/16	11
15	-/20/18	12
16	-/21/19	-
17	-/22/20	-

Випробування в поршневному (лопастевому) насосі Т6НЗОС Денісона.

Це випробування оцінює ММ загальної гідросистеми насоса, що поєднує в собі лопастевий та поршковий насоси. Випробування виконуються у дві стадії. На «сухий» стадії робоча швидкість 1700 об/хв за 230 F (110 °C). На другій стадії за робочої швидкості 1700 об/хв і температурі 176 F (80 °C) додається 1 % води. Обидві стадії тривають по 300 год, і тиск циклічно змінюється: (< 50–4061 фунтів/кв.дюйм) < 4–280 бар. У кінці випробування втрати ваги лопастей і цапф не повинні перевищувати 15 мг. Деталі поршневого насоса після випробування мають бути у хорошому стані. Набори картриджів, а також зразки оливи з повним аналізом повинні бути надані компанії Денісон Франція для одержання допуску;

Випробування в поршневному насосі Р-46 Денісона. Це випробування оцінює сумісність ММ (рідини) під час роботи поршкових насосів Денісона 46 серії в умовах високого тиску. Випробування виконується тривалістю 100 год на 75 галонах рідини. Робоча температура складає 71,1 °C протягом 60 год і 98 °C протягом 40 год. Тиск становить 5000 фунтів/кв.дюйм, витрата рідини 90 галонів/хв, а швидкість прокачування – 2400 об/хв.

Після випробування усі елементи системи мають бути в хорошому фізичному стані та мають бути надані компанії Денісон для контрольного тестування;

Випробування в поршневному насосі Т-5D Денісона. Це випробування оцінює сумісність ММ (рідини) під час роботи поршкових насосів Денісона серії Т-5D в умовах високого тиску.

Випробування виконується тривалістю 100 год на 50 галонах рідини. Робоча температура складає 160 °F протягом 60 год і 160 °F протягом 40 год. Тиск становить 2500 фунтів/кв.дюйм, витрата рідини 70 галонів/хв, а швидкість прокачування – 2400 об/хв.

Після випробування усі елементи системи мають бути в хорошому фізичному стані та мають бути надані компанії Денісон для контрольного тестування;

Випробування в лопастевому насосі 35VQ-25 Віккерса.

Це випробування оцінює характеристики протизношування ММ (рідини) в лопастевому насосі. Випробування виконуються протягом 50 год з 3 окремими картриджами та 52 галонами рідини. Робоча температура складає 200 °F, тиск становить 3000 фунтів/кв.дюйм, витрата рідини 38 галонів/хв, а швидкість прокачування – 2400 об/хв. Усі 3 тестові картриджі повинні мати наступні граничні параметри:

- втрати маси кулачкового кільця – не більше 75 мг;
- втрати маси лопасті – не більше 15 мг;

Випробування в лопастевому насосі V104-C Віккерса.

Це випробування оцінює характеристики протизношування ММ (рідини) в лопастевому насосі. Випробування виконуються протягом 250 год з 70 л рідини. Середньомасова температура рідини утримується на такому рівні, що забезпечує кінематичну в'язкість рідини 13 cSt. Тиск становить 2000 фунтів/кв.дюйм, витрата рідини 25 л/хв (lpm), а швидкість прокачування – 1440 об/хв.

Тестові картриджі повинні мати наступні граничні параметри за стандартом DIN 51524/2:

- втрати маси кулачкового кільця – не більше 120 мг;
- втрати маси лопасті – не більше 30 мг;
- загальна втрата маси – не більше 150 мг.

Тестові картриджі повинні мати наступні граничні параметри за стандартом Віккерса 1-286-S:

- загальна втрата маси – не більше 50 мг.

Оптимізація строків заміни гідравлічних олиव, і як наслідок строків планових робіт з ремонту, прогноз і запобігання можливому позаплановому виходу техніки з ладу – далеко не повний перелік можливостей, що вирішуються за допомогою вчасного встановлення рівня якості оливи. Усе це можливо завдяки сучасним методам аналізу, контролю якості. Тобто, концепція якості, контроль, моніторинг, діагностика створюють необхідні та достатні умови для запобігання та мінімізації ризикам несподіваних зупинок гідравлічної техніки й обладнання, а також позапланових ремонтних робіт.

У таблиці 4.50 надано типові бракувальні параметри стану гідравлічних рідин.

Таблиця 4.50

Бракувальні показники якості гідравлічних рідин

Найменування показника	Норма	Підвищений контроль	Необхідна заміна
Вміст заліза, ppm	< 15	15–30	> 30
Хром, ppm	< 5	5–10	> 10
Олово, ppm	< 10	10–20	> 20
Алюміній, ppm	< 10	10–20	> 20
Мідь, ppm	< 15	15–30	> 30
Свинець, ppm	< 10	10–20	> 20
Кремній, ppm	< 15	15–30	> 30
Вода за KF, ppm	< 500	> 500–2000	> 2000
В'язкість, за $t = 20^{\circ}\text{C}$, мм ² /с	Випробування свіжої оливи	+15% від значення для свіжої оливи	+25 % від значення для свіжої оливи
Кислотне число, мг КОН/г	Випробування свіжої оливи	+0,5 від значення для свіжої оливи	+1,0 від значення для свіжої оливи
Класи чистоти ISO 4406	16/12	17/13	21/17
ДСТУ			
ГОСТ 17216	8	9	12
NAS	< 9	9	12

Характеристика малов'язких гідравлічних олиив наведено в табл. 4.51, 4.52.

Таблиця 4.51

Характеристики низькозастигаючих малов'язких гідравлічних олиив

Найменування показника	«ЛЗ-МГ-2»	«МГЕ-4А»	«РМ»	«РМЦ»	«МГ-7-Б»	«МГ-10-Б»
Кінематична в'язкість, мм ² /с, за $t = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\geq 4,0$	$\geq 3,6$	3,8–4,2	$\geq 8,3$	$\geq 3,4$	$\geq 8,3$
- за $t = \text{мінус } 40\text{ }^{\circ}\text{C}$	–	–	≤ 350	≤ 915	≤ 350	≤ 915
- за $t = \text{мінус } 50\text{ }^{\circ}\text{C}$	≤ 210	≤ 300	–	–	–	–
Температура, $^{\circ}\text{C}$ - спалаху в закритому (відкритому) тиглі, не нижче	(92)	(94)	125	125	120	120
- застигання, не вище	мінус 70	мінус 70	мінус 60	мінус 60	мінус 60	мінус 60
- помутніння, не вище	–	–	мінус 50	мінус 50	мінус 50	мінус 50
Кислотне число, мг КОН/г, не більше	0,03	0,4–0,7	0,02	0,02	0,02	0,02
Вміст, %: водорозчинних кислот і лугів	вілсутність		-		Вілсутність	
Густина за $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, кг/м ³ , не більше	840	–	845	845	845	845
Стабільність проти окиснення, показники після окиснення: - масова частка осаду, %, не більше	0,04	відсутність	0,05	0,05	0,05	0,05
- кислотне число (зміна кислотного числа), мг КОН/г, не більше	0,2	(0,15)	0,09	0,09	0,09	0,09
Примітка. Для всіх олиив вміст води і механічних домішок – відсутність.						

Таблиця 4.52

**Характеристика низькозастигаючих гідравлічних олив
марок «МГЕ-10А», «ВМГЗ», «АМГ-10»**

Найменування показника	«МГЕ-10А»	«ВМГЗ»	«АМГ-10»
Зовнішній вигляд	Прозора рідина світло-коричневого кольору		Прозора рідина червоного кольору
Колір, од. ЦНТ, не більше	–	1,0	–
Кінематична в'язкість, мм ² /с, за $t = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$, не менше:	10,0	10,0	10,0
за $t = \text{мінус } 40\text{ }^{\circ}\text{C}$, не більше	–	1500	–
за $t = \text{мінус } 50\text{ }^{\circ}\text{C}$, не більше	1500	–	1250
Температура, $^{\circ}\text{C}$:			
- спалаху у відкритому тиглі, не нижче	96	135	93
- застигання, не вище	мінус 70	мінус 60	мінус 70
Кислотне число, мг КОН/г, не більше	0,4–0,7	–	< 0,03
Стабільність проти окиснення, показники після окиснення:			
- кінематична в'язкість, мм ² /с, за температури:			
- $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, не менше	–	–	9,8
- мінус $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, не більше	–	–	1500
- кислотне число, мг КОН/г, не більше	–	–	0,08
- зміна кислотного числа, мг КОН/г, не більше	0,15	–	–
масова частка осаду, %, не більше	відсутність	0,05	відсутність
Зміна маси гуми марки УИМ-1 після випробування в оліві, %	5,5–7,5	4–7,5	–
Індекс в'язкості, не менше	–	160	–
Густина за $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, кг/м ³ , не більше	860	865	850
Примітка. Для всіх олив вміст механічних домішок і води – відсутність.			

Оливу марки «ЛЗ-МГ-2» одержують вторинною перегонкою очищеної газової фракції з нафти нафтової основи. Містить загущуючу та антиокиснювальну присадки. Завдяки відмінним низькотемпературним характеристикам використовується в гідросистемах, що забезпечують швидкий запуск техніки та роботу за температур мінус 60–65 °С.

Олива гідравлічна марки «МГЕ-4А» – глибоко очищена легка фракція, що отримується гідрокрекінгом з суміші парафінистих нафт, загущена в'язкісною присадкою. Містить інгібітори окиснення та корозії. Має високі низькотемпературні властивості.

Оливи марок «РМ», «РМЦ» – дистилятні оливи, що отримують з нафтових нафт, мають поліпшені мастильні властивості. Використовуються в автономних гідроприводах спеціального призначення, експлуатуються за температури навколишнього середовища від мінус 40 до 55 °С.

Олива марки «МГ-7-Б» – дистилятна олива з продуктів гідрокрекінгу сумішею парафінистих сірчистих олив, що отримується вакуумною розгонкою основи «АМГ-10» і містить антиокиснювальну присадку.

Олива марки «МГ-10-Б» – дистилятна олива з продуктів гідрокрекінгу суміші парафінистих сірчистих олив, що отримується з вузької фракції основи «АМГ-10». Містить в'язкісну та антиокиснювальну присадки.

Оливи «МГ-7-Б» і «МГ-10-Б» застосовують як низькозастигаючі робочі рідини та можуть використовуватись як заміники олив «РМ» і «РМЦ».

Олива марки «МГЕ-10А» – глибоко деароматизована низько застигаюча фракція, що отримується з продуктів гідрокрекінгу суміші парафінистих нафт. Містить загущуючу, антиокиснювальну, антикорозійну і протизношувальну присадки. Олива призначена для роботи в діапазоні температур від мінус (60–65) до (70–75) °С.

Олива гідравлічна марки «ВМГЗ» – малов'язка низькозастигаюча мінеральна основа, що одержується в гідрокаталітичному процесі, загущена поліметакрилатною присадкою. Містить присадки: протизношувальну, антиокиснювальну, антипінну. Олива призначена для систем гідроприводу та

гідроуправління будівельних, дорожніх, лісозаготівельних, підіймально-транспортних і інших машин, що працюють на відкритому повітрі за температур у робочому обсязі оливи від мінус 40 до 50 °С залежно від типу гідронасоса. Для північних регіонів рекомендується як всесезонна олива, а для середньої географічної зони – як зимова.

Олива марки «АМГ-10» – для гідросистем авіаційної та наземної техніки, що працюють в інтервалі температур оточуючого середовища від мінус 60 до 55 °С. Виробляється на основі глибокодеароматизованої низькозастигаючої фракції, що отримується з продуктів гідрокрекінгу суміші парафіністих нафт і складається з нафтових і ізопарафінових вуглеводнів. Містить загущуючу та антиокиснювальну присадки, а також спеціальний маркувальний органічний барвник (червоного кольору).

Характеристики середньов'язких гідравлічних олив ілюструє таблиця 4.53.

Таблиця 4.53

Характеристика середньов'язких гідравлічних олив

Найменування показника	«АУ» з нафт			«АУП»	«ГТ-50»	«ЕШ»
	безпарафінових	малосірчистих	сірчистих			
Кінематична в'язкість, мм ² /с, за температури						
- 50 °С	–	–	–	–	11–15	≥ 20
- 40 °С	16–22	16–22	16–22	16–22	–	–
- мінус 40 °С	30000	14000	13000	–	–	–
Індекс в'язкості, не менше	–	–	–	–	–	135
Кислотне число, мг КОН/г, менше	0,07	0,07	0,05	0,45–1,0	3,5	0,1
Температура, °С спалаху у відкритому тиглі, більше	163	165	165	145	165	160

Закінчення табл. 4.53

застигання, менше	мінус 45	мінус 45	мінус 45	мінус 45	мінус 28	мінус 50
Масова частка, % водорозчинних кислот і лугів	Відсутність			Відсутність		
Сірки, менше	–	0,3	1,0	–	–	–
Колір, од. ЦНТ, менше	2,5	2,5	2,5	–	3,5	4,0
Густина за $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, кг/м ³	884– 894	890	890	–	≥ 850	850– 880

Оливу веретенну марки «АУ» отримують з малосірчистих і сірчистих парафінистих нафт з використанням процесів глибокого селективного очищення фенолом і глибокої депарафінації. Містить антиокиснювальну присадку. Олива забезпечує роботу гідроприводів у діапазоні температур від мінус (30–35) до (90–100) °С.

Оливу гідравлічну марки «АУП» отримують додаванням в веретенну оливу «АУ» антиокиснювальної та антикорозійної присадок. Призначена для гідрооб'ємних передач наземної та морської спеціальної техніки. Працездатна за температури навколишнього середовища від мінус 40 до 80 °С. Завдяки наявності антикорозійної присадки олива надійно захищає від корозії (в тому числі у вологому середовищі) чорні та кольорові метали.

Олива марки «ЕШ» для гідросистем високонавантажених механізмів являє собою середньов'язкий дистилат, в який після глибокого селективного очищення та глибокої депарафінації додають полімерну загущуючу та депресорну присадки. Олива призначена для гідросистем управління високонавантажених механізмів (крокуючих екскаваторів і інших аналогічних машин). Працездатність в інтервалі температур від мінус 40 до (80–100) °С.

Олива марки «ГТ-50» для гідродинамічних передач тепловозів – малов'язка мінеральна олива глибокого селектив-

ного очищення, що містить композицію присадок, що поліпшують антиокиснювальні, протизношувальні, антикорозійні та антипінні властивості. Застосовують для змащування турборедуктора гідропередачі дизель-поїздів. Олива має гарну мастильну здатність, високу термоокиснювальну стабільність і стабільність в'язкості.

Олива «ГТ-50» для гідродинамічних передач тепловозів – малов'язка мінеральна олива глибокого селективного очищення, що містить композицію присадок, що підвищує антиокиснювальні, протизапальні, антикорозійні та антипінні властивості. застосовують для змащування турборедуктора гідропередачі дизель-поїздів. Олива має хорошу мастильну здатність, високу термоокиснюючу стабільність і стабільність в'язкості.

Олива «МГЕ-46В» для гідрообмінних передач виробляється на базі промислових олив з антиокиснювальною, протизношувальною, депресорною та антипінною присадками. Олива має високу стабільність експлуатаційних (в'язкісних, протизношувальних, антиокиснювальних) властивостей, не агресивна щодо до матеріалів, що застосовуються в гідроприводі. Призначена для гідравлічних систем (гідростатичного приводу) сільськогосподарської та іншої техніки, що працює за тиску до 35 МПа з короткочасним підвищенням до 42 МПа. Працездатність в діапазоні температур від мінус 10 до 80 °С.

Олива «МГЕ-46В» для гідрообмінних передач виробляється на базі промислових олив з антиокиснювальною, протизношувальною, депресорною та антипінною присадками. Олива характеризується високими експлуатаційними (в'язкісні, протизношувальні, антиокиснювальні) властивостями, не агресивна щодо до матеріалів, що застосовуються в гідроприводі. Призначена для гідравлічних систем (гідростатичного приводу) сільськогосподарської та іншої техніки, що працює за тиску до 35 МПа з короткочасним підвищенням до 42 МПа. Працездатність в діапазоні температур від мінус 10 до 80 °С.

Олива марки «МГ-8А» являє собою суміш дистильного та залишкового компонентів з додаванням депресорної, антипінної та багатокомпонентної (поліпшують антиокиснювальні, антикорозійні та диспергувальні характеристики) присадок. Має досить

високий рівень протизношувальних властивостей. Застосовують в гідравлічних системах навісного обладнання та рульового управління тракторів, самохідних сільськогосподарських машин, самоскидальних автомобілів.

Гідравлічна рідина марки «ГЖД-14с» – суміш глибокоочишених залишкового та дистильованого компонентів з сірчистих нафт. Для поліпшення експлуатаційних властивостей в оливу додають антиокиснювальну, антикорозійну та антипінну присадки. Застосовують в основних гідравлічних системах гвинтів суден.

Характеристики цих олив ілюструє таблиця 4.54.

Поряд з широко поширеними робочими гідравлічними рідинами на нафтовій основі все більше використовуються синтетичні та напівсинтетичні продукти, що вигідно відрізняються від нафтових за комплексом експлуатаційних властивостей, а також за підвищеною вогнестійкістю та більшою пожежобезпекою. Такі робочі рідини використовуються в авіаційній техніці, в гідравлічних приводах шахтного устаткування, в гідравлічних системах «гарячих» цехів металургійних заводів і низці інших галузей економіки.

Оливи марок «132-10» і «132-10Д» напівсинтетичні гідравлічні рідини – являють собою суміш поліетилсилоксанової рідини та нафтової малов'язкої низькозастигаючої оливи «МВП». Зазначені рідини продукують під індексом «ВПС». Олива марки «132-10» призначена для роботи в гідравлічних системах в інтервалі температур від мінус 70 до 100 °С, олива марки «132-10Д» – для роботи в електрично ізольованих системах у тому ж самому інтервалі температур.

Робоча рідина марки «7-50С-3» – синтетична рідина, що застосовують у гідравлічних агрегатах і гідравлічних системах ЛА в діапазоні температур від мінус 60 до 175 °С тривало, з перегріванням до 200 °С; робочому тиску до 21 МПа. Рідину виготовляють з суміші полісилоксанової рідини та органічного ефіру з додаванням протизношувальної присадки та інгібіторів окиснення.

Робоча рідина марки «НГЖ-4у» – синтетична вибухопожежо-безпечна рідина на основі ефірів фосфорної кислоти.

Була створена на заміну рідини марки «НГЖ-4», що раніше широко застосовувалася в авіації, що викликала ерозію клапанів гідросистем і, як наслідок цього, витікання рідини.

Таблиця 4.54

**Характеристики в'язких гідравлічних олив марок
«МГЕ-46В», «МГ-8А» і «ГЖД-14С»**

Найменування показника	«МГЕ-46В»	«МГ-8А»	«ГЖД-14С»
Кінематична в'язкість, мм ² /с, за $t = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$, не менше	6,0	–	–
за $t = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$	–	7,5–8,5	13
за $t = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$	41,4–50,6	–	82–91
за $t = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$, не більше	1000	57,0–74,8	–
Індекс в'язкості, не менше	90	85	–
Температура, $^{\circ}\text{C}$:			
- спалаху у відкритому тиглі, не нижче	190	200	190
- застигання, не вище	мінус 32	мінус 25	–
Кислотне число, мг КОН/г	0,7–1,5	–	–
Масова частка:			
- механічних домішок, %, не більше	Відсутність	0,015	0,02
- води	Відсутність	Сліди	
Випробування на корозію металів	Витримує		
Густина за $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, кг/м ³ , не більше	890	900	–
Стабільність проти окиснення:			
- осад, %, не більше	0,05	–	–
- зміна кислотного числа, мг КОН/г оливи, не більше	0,15	–	–
Трибологічні характеристики на ЧШМТ: показник зношування за осьового навантаження 196 Н, мм, не більше	0,45	–	–

Рідина марки «НГЖ-4у» є ерозійностійкою, містить присадки, що поліпшують її в'язкісні, антиерозійні, антиокиснювальні властивості. Працездатна в інтервалі температур від мінус 55 до 125 °С за робочих тисків до 21 МПа. Температура samozаймання – 650–670 °С, повільно горить в полум'ї, але не підтримує горіння та не поширює полум'я на відміну від нафтових рідин типу «АМГ-10». Ця олива є хорошим пластифікатором і розчинником для багатьох неметалічних матеріалів, тому при використанні останніх в контакт з рідиною марки «НГЖ-4у» слід ретельно перевіряти їх сумісність або користуватися тільки тими матеріалами, що спеціально підібрані та рекомендовані для рідин типу «НГЖ».

Робоча рідина марки «НГЖ-5у» – синтетична вибухопожежо-безпечна, ерозійностійка рідина на основі суміші ефірів фосфорної кислоти, що містить пакет присадок, що поліпшують її в'язкісні, антигідролізні, антиокиснювальні, антикорозійні та антиерозійні властивості. Температурний інтервал використання рідини марки «НГЖ-5у» становить від мінус 60 до 150 °С за номінальних тисків до 21 МПа. Рідина має температуру samozаймання 595–630 °С, повільно горить в полум'ї, не підтримує горіння та не поширює полум'я. Рідина марки «НГЖ-5у» повністю взаємозамінна з рідинами марок «НГЖ-4» і «НГЖ-4у». Характеристики цих олив надано в табл. 4.55.

Таблиця 4.55

Характеристики синтетичних і напівсинтетичних гідравлічних олив

Найменування показника	«132-10», «132-10Д»	«7-50С-3»	«НГЖ-4у»	«НГЖ-5у»
Зовнішній вигляд	Прозора рідина			
Колір	Жовтий		Від фіолетового до синього	
Кінематична в'язкість, мм ² /с, за $t = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$, не менше	–		1,3	–
	20–33	> 22	–	–
	10	–	8,7	8,5

Закінчення табл. 4.55

за $t =$ мінус $55\text{ }^{\circ}\text{C}$, не більше	1100	4200 (за $t =$ мінус $60\text{ }^{\circ}\text{C}$)	3900	4200 (за $t =$ мінус $60\text{ }^{\circ}\text{C}$)
Температура, $^{\circ}\text{C}$: спалаху у відкритому тиглі, не нижче застигання, не вище	130 мінус 70	200 мінус 70	165 мінус 65	155 мінус 65
Масова частка, %: механічних домішок - води - водорозчинних кислот і лугів	Відсут- ність відсутність –	< 0,002 відсутність	Відсут- ність < 0,1 відсутність	< 0,1
Густина за $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, кг/м^3	–	930–940	1020	1060– 1080
Кислотне число, мг КОН/г, не більше	0,05	0,1	0,08	0,08
Чистота рідини за ДСТУ ГОСТ 17216-2004	–	–	Не вище 10 класу	
Питома електропровідність, мк Ом/м, не менше	–	–	40	40

Примітки. 1) Для оливи марки «132-10Д» нормують електрофізичні показники за температури $15\text{--}35\text{ }^{\circ}\text{C}$ і відносній вологості $45\text{--}75\%$: питомий об'ємний електричний опір не менше $5,0 \cdot 10^{12}$ Ом·см; тангенс кута діелектричних втрат за частоти 3 МГц не менше 0,001; діелектрична проникність за 3 МГц не більше 3,0. 2) Термоокиснювальну стабільність і корозійну активність рідини марки «7-50С-3» оцінюють за температури $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ (30 год); рідини марки «НГЖ-4у» – за температури $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ (100 год), а рідини марки «НГЖ-5у» – за $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ (100 год).

Показники після окиснення:

Найменування показника	«7-50С-3»	«НГЖ-4у»	«НГЖ-5у»
Кінематична в'язкість, $\text{мм}^2/\text{с}$, за $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, не більше:	26	–	–
за $t = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$	–	10,5	10,5
за $t = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$	1,5	–	–
за $t =$ мінус $60\text{ }^{\circ}\text{C}$	4500	4500 (за $t =$ мінус $60\text{ }^{\circ}\text{C}$)	5000
Кислотне число, мг КОН/г, не більше	0,8	0,10	0,15
Корозія металеві поверхні, г/м^2 , не більше	$\pm 1,0$	$\pm 1,0$	$\pm 1,0$

На сьогодні внаслідок зростання парку ЛА світових виробників авіаційної техніки Boeing і Airbus зростають обсяги використання гідравлічних олів (рідин) провідних виробників світу – як NYCO S.A., Shell, Exxon Mobil Corporation, Total, Castrol і інших.

Фізико-хімічні та експлуатаційні властивості сучасних гідравлічних олів значно поліпшуються у разі додавання до їх складу функціональних присадок – антиокиснювальних, антикорозійних, протизношувальних, антипінних тощо. За функціональним призначенням присадки для гідравлічних рідин можна розділити на дві групи:

– «поверхнево-активні» – що впливають на модифікацію, фізико-хімічні та трибологічні властивості поверхневих шарів металу. До них відносяться інгібітори іржавіння, деактиватори металів, присадки протизношувальні та модифікатори тертя;

– «об’ємної дії» – що впливають на фізико-хімічні властивості базових олів. Наприклад, антиоксиданти, деемульгатори, депресори, інгібітори піноутворення та в’язкісні присадки.

Типи присадок, їх призначення та методи випробувань наведено в таблицях 4.56. і 4.57.

Таблиця 4.56

«Поверхнево-активні» присадки для гідравлічних олів

Найменування присадки	Склад	Метод визначення
Інгібітори іржавіння	Похідні алкенілбурштинової кислоти, етоксильовані феноли, аміни жирного ряду, солі жирних кислот і амінів, солі фосфатних ефірів і амінів, сульфонати металів, сульфонали амонію, похідні імідазоліну	ASTM D665, стандартний метод визначення протикорозійних характеристик інгібованої мінеральної оливи в присутності води
Деактиватори металів	Бензотріазоли, 2-меркапто-бензотріазоли, тіадіазоли, похідні толілтриазолу	ASTM D 130 – стандартний метод визначення корозії міді під впливом нафтопродуктів за потьмянінням мідної пластинки

Закінчення табл. 4.56

Прозношувальні	Ефіри та солі алкілфосфорних кислот, діалкілдітіофосфати, діалкілдітіокарбамати металів, фосфатні ефіри, дітіофосфатні ефіри, похідні 2,5-дімеркапто-1,3,4-тіадіазола, карбоксилати молібдена	ASTM D 4172 – стандартний метод визначення протизношувальних характеристик мастильних рідин (методи випробування на чотирикульовій машині); ASTM D 7043 – стандартний метод визначення зношування в пластинчастих насосах; ASTM D 5182 – стандартний метод оцінювання граничної несучої здатності
Модифікатори тертя	Фосфорні та тіофосфорні кислоти, складні та прості ефіри, аміни, аміди, іміди, сульфоновані олефіни, органічні полімери	ASTM D 4172

Таблиця 4.57

Присадки «об'ємної» дії для гідравлічних олів

Призначення	Хімічні типи присадок	Методи випробувань
Антиоксиданти	Екрановані феноли, діаріламіни, фенотіазін, діалкілдітіокарбамати металів, беззольні діалкілдітіокарбамати, діалкілдітіофосфати металів	ASTM D 943 – стандартний метод визначення характеристик окиснення інгібованих мінеральних олів. ASTM D 2272 – стандартний метод визначення окиснювальної стабільності паротурбінних олів в герметизованому посуді, що обертається. ASTM D 4310 – стандартний метод визначення схильності

Закінчення табл. 4.57

		Інгібованих мінеральних олів до корозії та утворення шлаку. ASTM D 6186 – стандартний метод визначення періоду індукції окиснення мастильних олів диференціальною скануючою калориметрією високого тиску
Десемюльгатори	Поліалкоксильовані сполуки: феноли, поліоли, поліаміни	ASTM D 1401 – стандартний метод визначення водовідділюючих властивостей нафтових олів і синтетичних рідин. ASTM D 2711 – стандартний метод визначення десемюльгуючих властивостей
Депресорні присадки	Поліалкілметакрилати	ASTM D 97 – стандартний метод визначення температури текучості нафтопродуктів. ASTM D 5949 – стандартний метод визначення температури текучості нафтопродуктів
Інгібітори піноутворення	Полідиметилсилоксани	ASTM D 892 – стандартний метод визначення піноутворюючих характеристик мастильних олів
В'язкісні присадки, стійкі до зсуву	Поліалкілметакрилати, сополімери олефінів, стиролдієнові сополімери	ASTM D 5621 – стандартний метод визначення стабільності гідравлічних рідин до зсуву під дією акустичних коливань

Як інгібітори іржавіння часто застосовують сульфонати з лужними властивостями для нейтралізації продуктів окиснення. Визначення антикорозійних характеристик виконують за ASTM D 665.

Деактиватори металів застосовують для запобігання корозії міді та її сплавів, що використовуються в гідравлічних системах, оскільки корозія міді може призвести до відмови усєї гідравлічної системи. Визначення корозії міді здійснюють за ASTM D 130.

Протизношувальні присадки застосовують для зменшення фрикційного зношування рухливих вузлів гідравлічної системи. У багатьох рецептурах як присадки проти зношування деталей застосовують діалкілдітіофосфати цинку (ДАДТФЦ). Проте, під час їх використання необхідно контролювати гідролітичну та термічну стабільність рідини, а також корозійну активність.

Застосування беззольних присадок покращує фільтрованість рідин, але вимагає оцінки сумісності з рідинами, що містять традиційні присадки типу ДАДТФЦ, оскільки можливе змішування рідин під час використання.

Модифікатори тертя використовують для зменшення тертя, його антифрикційної складової. Механізми утворення вторинних структур на поверхнях тертя (за Б. І. Костецьким) можуть бути різними, залежно від хімічної природи модифікаторів (табл. 4.58). Оцінку антифрикційних характеристик здійснюють стандартними методами визначення трибологічних властивостей, де є визначення коефіцієнта тертя або стендовими випробуваннями трибологічних властивостей.

Антиоксиданти використовують для підвищення окиснювальної стійкості олиव.

Окиснення є головною причиною деградації олив. Під час окиснення утворюються шкідливі речовини, що знижують якість оливи, зменшують термін його служби, а також призводять до пошкодження техніки, де ця олива застосовується. Окиснення розпочинається з дії кисню й тепла на вуглеводні та може значно прискорюватися за наявності таких металів як мідь, залізо, нікель тощо.

Типи та способи дії модифікаторів тертя

Спосіб дії або тип модифікаторів тертя	Хімічні типи присадок
Утворення шарів внаслідок хімічної реакції	Насичені жирні кислоти, фосфорна та тіофосфорна кислоти, сірковмісні жирні кислоти
Утворення шарів внаслідок адсорбції	Довголанцюгові карбонові кислоти, складні та прості ефіри, аміни, аміди
Утворення полімерів на місці	Неповні складні ефіри, метакрилати, ненасичені жирні кислоти, сульфовані олефіни
Механічна дія	Органічні полімери

Антиоксиданти за механізмом дії можна розділити на первинні, вони руйнують вільні радикали, тим самим розривають окиснювальний ланцюг. Вторинні антиоксиданти взаємодіють з пероксидами, що утворюються під час окиснення. Антиоксидантами працюючими за першим механізмом є просторово ускладнені феноли й ароматичні аміни. До антиоксидантів, що руйнують пероксиди можна віднести дитіофосфати металів. Оцінку антиокиснювальної стабільності здійснюють за ASTM D 943, ASTM D 2272, ASTM D 4310, ASTM D 6186.

Деемульгатори призначені для полегшення відділення води від оливи. Вони концентруються на межі розділу води й оливи та сприяють злиттю крапель води, прискорюючи її відділення. Оцінку деемульгуючих властивостей проводять за ASTM D 1401 і ASTM D 2711.

Депресорні присадки – речовини плинність мінеральних гідравлічних олив, що знижують температуру, чим забезпечується їх прокачуваність за низьких температур. Депресори є полімерами, що перешкоджають збільшенню парафіну в мінеральних оливах за низьких температур. Депресорні властивості олив визначають за ASTM D 97 і ASTM D 5949.

Антипінні присадки використовують в оливах для пригнічення їх схильності до піноутворення. Антипінні присадки

лише частково розчинні в оливі й утворюють дисперсії дрібних крапель з низьким коефіцієнтом міжфазного натягнення, що прискорюють коалесценцію бульбашок повітря в оливі. Антипінні властивості олив оцінюють за ASTM D 892.

В'язкісні присадки, що підвищують ІВ олив, використовують для розширення інтервалу робочих температур гідравлічних олив. Присадки є полімерними макроланцюгами, що при підвищенні температури розгортаються, збільшуючи в'язкість оливи.

4.4. Фізико-хімічні та експлуатаційні властивості гідравлічних олив

В'язкість – найважливіша властивість, що визначає несучу здатність гідравлічної оливи (рідини). В'язкість різко зростає із пониженням температури та зменшується в міру підвищення температури. Порогове значення в'язкості, необхідне для використання в насосах різних типів, складає 800–2000 мм²/с. За високих температур порогова в'язкість визначається початком переходу в режим граничного тертя. Мінімальні значення в'язкості мають бути не нижчі 7–10 мм²/с, щоб не допускати підвищеного зношування насосів і двигунів. В'язкісні та низькотемпературні властивості визначають температурний діапазон експлуатації гідросистем і мають вирішальний вплив на вихідні характеристики гідроприводу. Вибираючи в'язкість гідравлічної оливи, важливо знати тип насоса. Виробники насосів, зазвичай, рекомендують для нього межі в'язкості: максимальну, мінімальну та оптимальну. Максимальна – це найбільша в'язкість, за якої насос у стані прокачувати оливу. Вона залежить від потужності насоса, діаметра й протяжності трубопроводу. Мінімальна – це та в'язкість за робочої температури, за якої гідросистема працює доволі надійно.

У разі зменшення в'язкості нижче від допустимої, зростають об'ємні втрати (витікання) у насосі та клапанах, відповідно зменшується потужність і погіршуються умови змащування. Понижена в'язкість спричиняє інтенсивний прояв втомлюваних видів зношування контактуючих деталей

гідросистеми. Підвищена в'язкість значно збільшує механічні втрати приводу, ускладнює відносне переміщення деталей насоса та клапанів, робить неможливою роботу гідросистем в умовах знижених температур. В'язкість оливи безпосередньо пов'язана з температурою кипіння оливної фракції, її середньою молекулярною масою, з груповим хімічним складом і будовою вуглеводнів. Зазначеними чинниками визначається абсолютна в'язкість оливи, а також її ВТХ, тобто зміна в'язкості зі зміною температури, що характеризується ІВ оливи.

Для поліпшення ВТХ використовують в'язкісні (загущувальні) присадки – полімерні сполуки (поліметакрилати, поліізобутилені, продукти полімеризації вінілбутилового ефіру (вініпол) та інші.

Індекс в'язкості характеризує залежність в'язкості від температури. Чим вище значення ІВ гідравлічної рідини, тим менше зміни в'язкості зі зміною температури, тобто тим пологіша в'язкісно-температурна крива (рис 4.19, 4.20). Для гідравлічних рідин на базі мінеральних олив ІВ становить 95–100. Синтетичні гідравлічні рідини на основі складних ефірів характеризуються ІВ 140–180, а для полігліколів ІВ складає 180–200.

Індекс в'язкості можна підвищити за допомогою в'язкісних присадок. Гідравлічні оливи з високим ІВ забезпечують легкий запуск, знижують втрати в експлуатаційних характеристиках за низьких температур і покращують ущільнення та захист від зношування за високих температур експлуатації.

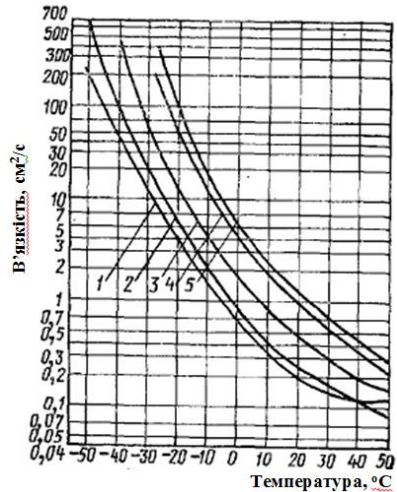


Рис. 4.19. Порівняльна в'язкісно-температурна характеристика гідравлічних рідин:

1 – амортизаційна рідина; 2 – трансформаторна; 3 – гідравлічна АУ;

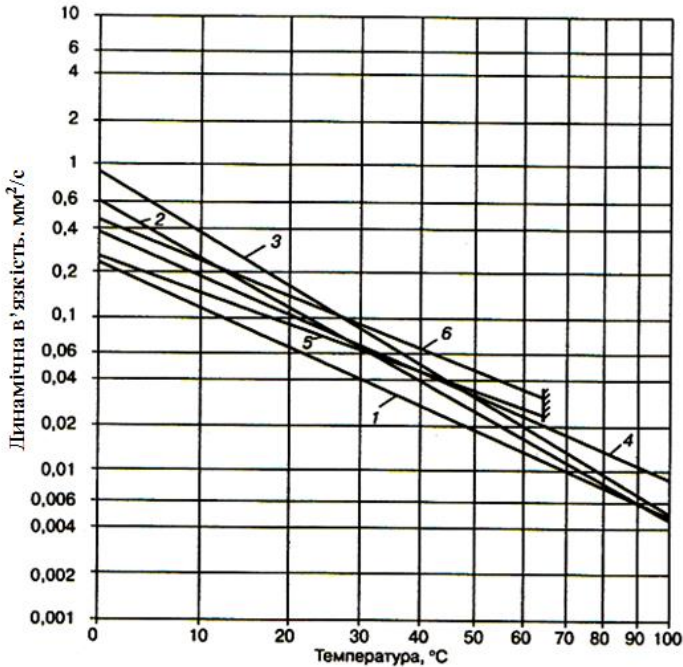


Рис. 4.20. В'язкісно-температурні характеристики гідролічних рідин: 1 – вода; 2 – мінеральна олива HLP 32; 3 – мінеральна олива HLP 46; 4 – складний ефір фосфорної кислоти HFD R 46; 5 – водно-гліколева HVC 46 (40 % H₂O); 6 – водно-гліколева HFC 46 (45 % H₂O)

Оливи з високим ІВ підвищують ефективність експлуатації гідролічної системи, збільшують термін служби вузлів і компонентів, схильних до зношування.

Залежність в'язкості від тиску має такий характер: з підвищенням тиску в'язкість збільшується. При цьому зростає питоме навантаження, оскільки в'язкість мастильної плівки збільшується під дією високого парціального тиску з 0 до 200 МПа. В'язкість HFC рідини збільшується в два рази, мінеральної оливи – в 30 разів, а HFD рідини – в 60 разів. Залежність в'язкості від тиску для різних гідролічних рідин показана на рис. 4.21, а залежність описується рівнянням:

$$\eta = \eta_0 e^{\alpha P},$$

де η_0 – динамічна в'язкість за атмосферного тиску, α – коефіцієнт залежності «в'язкість-тиск», P – тиск.

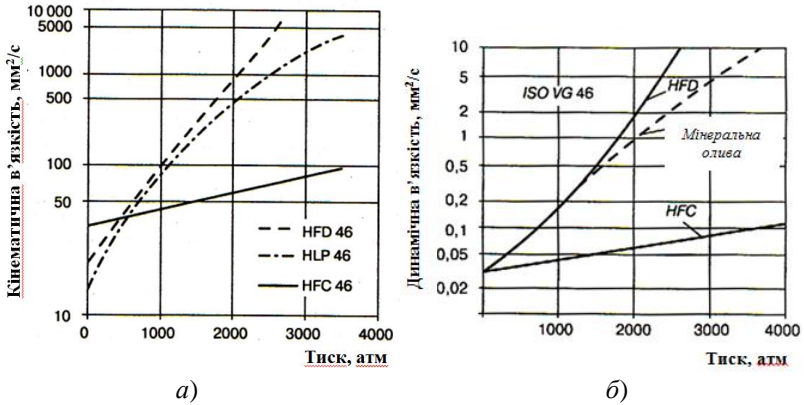


Рис. 4.21. Залежність в'язкості від тиску:
а) кінематична в'язкість; б) динамічна в'язкість

Густина ρ – це маса m одиниці об'єму V рідини.

$$\rho = m/V.$$

Густина залежить від температури й тиску, оскільки об'єм рідини збільшується за підвищення температури, а густина при цьому зменшується.

$$\Delta\rho = \rho \beta_{\text{тем.}} \Delta T,$$

де $\beta_{\text{тем.}}$ – коефіцієнт об'ємного розширення.

Зміна густини є важливим чинником для гідрокінетичних систем, оскільки при зростанні густини їх ефективність збільшується. Залежність густини гідравлічної рідини від температури та тиску наведені на рис. 4.22, 4.23.

Більшість газів добре розчиняються в рідинах, що може негативно впливати на властивості гідравлічних систем. При тисках до 30 МПа розчинність газу пропорційна тиску й описується законом Генрі:

$$V_{\text{Г}} = V_{\text{р}} \alpha P,$$

де $V_{\text{Г}}$ – об'єм розчиненого газу; $V_{\text{р}}$ – об'єм рідини; α – коефіцієнт розчинності (коефіцієнт Бунзена).

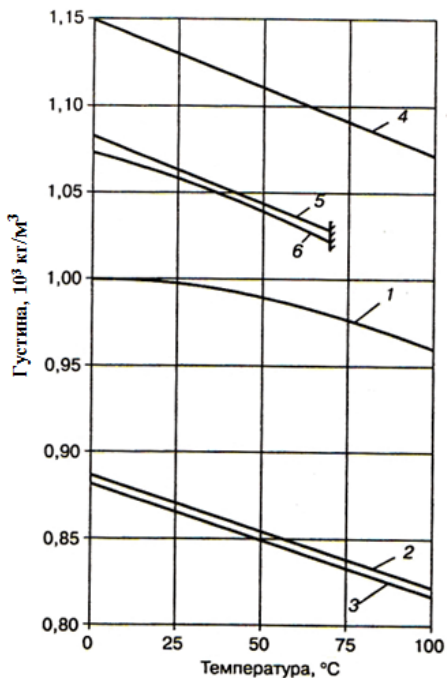


Рис. 4.22. Залежність густини гідравлічних рідин від температури; 1 – вода; 2 – мінеральна олива HLP 32; 3 – мінеральна олива HLP 46; 4 – складний ефір фосфорної кислоти HFD P46; 5 – розчин «вода-гліколь» HVC 48 (40 % H₂O); 6 – розчин «вода-гліколь» HFC 46 (45 % H₂O); 7 – мінеральна олива HVLP 46

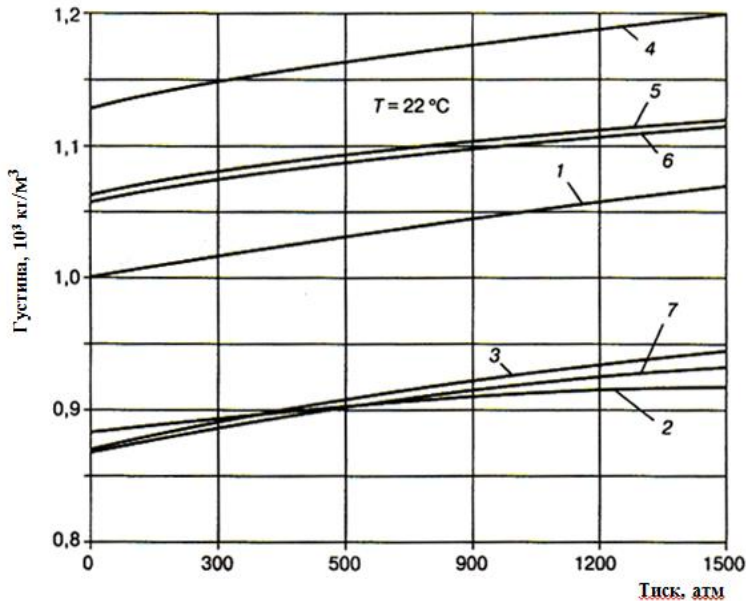


Рис. 4.23. Залежність густини гідравлічних олів від тиску:
 1 – вода; 2 – мінеральна олива HLP 32; 3 – мінеральна олива HLP 46;
 4 – складний ефір фосфорної кислоти HFD P46; 5 – розчин «вода-гліколь» HVC 48 (40 % H₂O); 6 – розчин «вода-гліколь» HFC 46 (45 % H₂O); 7 – мінеральна олива HVLP 46

Розчинений газ може виділятися з гідравлічної рідини при низькому статичному тиску до тих пір, поки не досягнута нова точка насичення. Швидкість, з якою газ покидає рідину, зазвичай перевищує швидкість абсорбції газу рідиною. У мобільних системах з високою кратністю циркуляції рідини вміст нерозчиненого повітря може досягати до 5 %.

Нерозчинене повітря негативно впливає на експлуатаційні характеристики гідравлічної рідини й системи в цілому.

Явище кавітації відбувається коли тиск падає нижче розчинності газу або нижче тиску насиченої пари рідини. В основному кавітація відбувається у відкритих системах

з постійним об'ємом. Її причинами можуть бути занадто низький абсолютний тиск внаслідок втрат у швидкості потоку у вузьких поперечних перерізах, на фільтрах, колекторах і дросельних заслінках, внаслідок надмірного натиску на вході або втрати тиску в результаті великої в'язкості рідини.

Кавітація призводить до зниження коефіцієнта корисної дії (ККД) підвищеного зносу устаткування, пікам тиску, нестабільній роботі гідравлічної системи. Здатність рідини віддавати нерозчинене повітря отримало назу деаерації. Швидкість, з якою бульбашки повітря піднімаються на поверхню, залежить від діаметру бульбашок, в'язкості рідини, густини та якості базової оливи. Малов'язкі рідини зазвичай деаеруються швидше, ніж високов'язкі базові оливи. На деаераційну здатність гідравлічних рідин негативно впливають присадки, зокрема антипінні на основі силіконів.

Гідравлічні рідини на основі мінеральних олив мають кращі деаераційні властивості, чим вогнетривкі рідини.

Піноутворення у гідравлічних рідин відбувається коли швидкість деаерації вище швидкості, з якою бульбашки повітря лопаються на поверхні рідини, тобто коли бульбашок, що утворилися, більше, ніж що зруйнувалися.

Антипінні присадки прискорюють процес руйнування бульбашок повітря, знижуючи поверхнєве натягнення піни, але можуть погіршувати деаераційні властивості рідини. Тому антипінні присадки застосовують в дуже малих концентраціях.

Гідравлічні рідини на основі мінеральних олив мають кращі деаераційні властивості, чим вогнетривкі рідини.

Деемульгування – здатність гідравлічної рідини відділяти воду, що проникла. Вода в гідравлічній рідині може викликати корозію, кавітацію в насосах, збільшувати тертя й зношування, а також прискорювати руйнування еластомерів і пластиків.

Питання для самостійної роботи

1. Яке призначення та функції гідравлічних олиव?
2. Яку ви знаєте класифікацію гідравлічних олив?
3. Охарактеризуйте класифікація гідравлічних олив за стандартами ISO та DIN;
4. Наведіть позначення гідравлічних олив та їх поділ за в'язкістю;
5. Яку ви знаєте класифікацію гідравлічних рідин?
6. Наведіть принципову класифікацію вогнестійких рідин;
7. Охарактеризуйте біорозщеплювані гідравлічні рідини;
8. Який склад і якість гідравлічних рідин?
9. Які присадки додають до гідравлічних олив та їх функції?;
10. Які фізико-хімічні властивості характеризують якість гідравлічних олив?
 11. Які з властивостей гідравлічних олив є найважливішими?
 12. Які чинники впливають на хімотологію гідравлічних рідин?
 13. Які ви знаєте способи усунення відмов (збоїв) у роботі гідравлічних систем?
 14. Охарактеризуйте основні властивості гідравлічних олив.

РОЗДІЛ 5

ВЛАСТИВОСТІ ТА ЯКІСТЬ ТРАНСМІСІЙНИХ ОЛИВ

Трансмiсiйнi оливи використовують у вузлах тертя агрегатiв трансмiсiй легкових i вантажних автомобiлiв, автобусiв, тракторiв, тепловозiв, дорожньо-будiвельних i iнших машин, а також у рiзних зубчастих редукторах i черв'ячних передачах промислового обладнання

Агрегати трансмiсiй в одному корпусi можуть мати всi види передач i механiзмiв – зубчастi, фрикцiйнi, а також гiдродинамiчнi та гiдравлiчнi механiзми. Тому для трансмiсiйних олив необхiднi такi унiверсальнi властивостi: ММ механiчних зубчастих передач, середовище для забезпечення зчеплення у фрикцiйних передачах, а також рiдини, що передає потужнiсть у гiдравлiчних передачах i регулюючих пристроях.

5.1. Загальна характеристика, технiчнi вимоги, функцiї та призначення

У механiчних трансмiсiях функцiєю оливи є змащування агрегатiв, таких як коробка передач (механiчна, автоматична, з головною провiдного ведучого моста), зчеплення, коробка роздачi, провiдних мостiв автомобiлiв, головна передача, карданний вал з шарнiрами, механiзм вибору потужностi в тракторах i iнших мобiльних робочих машин, тощо. Основними змащувальними елементами в них є: цилiндричнi прямозубi та косозубi шестернi, конiчнi та спiрально-конiчнi зубчастi та гiпоiднi передачi.

Функцiї трансмiсiйних олив у механiчних трансмiсiях полягають в:

- оберiганнi поверхонь тертя вiд зношування, заїдання, пiтингу та iнших пошкоджень;
- зменшеннi коефiцiєнта тертя;
- вiдведеннi тепла вiд поверхонь, що труться;
- захистi вiд корозii;

– зниженні вібрації та шуму зубчастих коліс, зменшення ударних навантажень;

– вилученні продуктів зношування та забруднень.

Функції трансмісійних олив у фрикційних механізмах:

– забезпечення міцного контакту між дотичними поверхнями;

– забезпечення необхідного статичного та динамічного коефіцієнта тертя за різних швидкостей ковзання;

– забезпечення змащування за екстремальних умов, запобігання прослизанню пар тертя й придушення вібрації.

Функції трансмісійних олив у гідродинамічних і гідромеханічних передачах:

– зменшення зношування;

– зменшення тертя в зубчастих передачах;

– забезпечення необхідного коефіцієнта тертя для фрикційних механізмів;

– захист від корозії;

– відведення тепла від поверхонь, що труться.

У гідромеханічних передачах, щоб мінімізувати втрати на внутрішнє тертя за високих швидкостей потоку оливи, використовують малов'язкі оливи, однак їх в'язкість повинна бути достатньою для того, щоб ефективно змащувати зубчасті передачі та підшипники.

За деякими винятками всі механізми трансмісій в агрегатах працюють в оливному середовищі, що слугує їм водночас і як ММ, і як гідравлічне середовище або ж як середовище фрикційного зчеплення. Кожна з цих груп відповідно висуває різні вимоги до оливи залежно від їх функції та конструкційних особливостей, призначення та умов експлуатації механізмів.

Оскільки трансмісійні оливи працюють в режимах високих швидкостей ковзання, тиску та широкому діапазоні температур, їх пускові властивості та тривала працездатність повинні забезпечуватися у широкому інтервалі температур від мінус 60 °С до 150 °С. Через що, до них висуваються достатньо жорсткі вимоги.

5.2. Класифікація трансмісійних олив

Великий асортимент цих олив, призначених для різної техніки, сприяв необхідності розроблення й використання класифікації олив, що дають змогу правильно вибрати сорт оливи для певної конструкції трансмісії (табл. 5.59).

Класифікація трансмісійних олив визначається згідно з ГОСТ 17479.2 (табл. 5.60). Відповідно до вимог цього стандарту марки трансмісійних олив позначаються: «ТМ» – трансмісійна олива; цифри 1–5 група експлуатаційних властивостей; цифри 9, 12, 18, 34 – клас в'язкості; буквенні індекси означають: «рк» – робочо-консерваційна; «гіп» – гіпоїдна тощо.

Таблиця 5.59

**Групи трансмісійних олив
за експлуатаційними властивостями**

Група олив	Склад олив	Рекомендована сфера застосування	Прийняте позначення
1	Мінеральні оливи без присадок	Циліндричні, конічні та черв'ячні передачі, що працюють за контактних напруг від 900 до 1600 МПа і температури оливи в об'ємі до 90 °С	«ТМ-1»
2	Мінеральні оливи з протизношувальними присадками	Те ж саме, за контактних напруг до 2100 МПа і температури оливи в об'ємі до 130 °С	«ТМ-2»
3	Мінеральні оливи з протизадирними присадками помірної ефективності	Циліндричні, конічні та спірально-конічні та гіпоїдні передачі, що працюють за контактних напруг до 2500 МПа і температури оливи в об'ємі до 150 °С	«ТМ-3»
4	Мінеральні оливи з протизадирними присадками високої ефективності	Циліндричні, спірально-конічні та гіпоїдні передачі, що працюють за контактних напруг до 3000 МПа і температури оливи в об'ємі до 150 °С	«ТМ-4»

Закінчення табл. 5.59

5	Мінеральні оливи з про-тизадирними присадками високої ефек-тивності та багатофунк-ціональної дії, а також універсальні оливи	Гіпоїдні передачі, що працюють за ударних напруг понад 3000 МПа і температури оливи в об'ємі до 150 °С	«ТМ-5»
---	--	--	--------

Таблиця 5.60

**Групи трансмісійних олив
за експлуатаційними властивостями**

Клас в'яз-кості	В'язкість, мм ² /с, за 100 °С	Групи за експлуатаційними властивостями				
		«ТМ-1»	«ТМ-2»	«ТМ-3»	«ТМ-4»	«ТМ-5»
9	7,0–10,9	–	ТМ-2-9	ТМ-3-9	ТМ-4-9	ТМ-5-9
12	11,0–13,9	–	ТМ-2-12	ТМ-3-12	ТМ-4-12	ТМ-5-12
18	14,0–24,9	ТМ-1-18	ТМ-2-18	ТМ-3-18	ТМ-4-18	ТМ-5-18
34	25,0–41,0	ТМ-1-34	ТМ-2-34	ТМ-3-34	ТМ-4-34	ТМ-5-34

Залежно від рівня кінематичної в'язкості за температури 100 °С трансмісійні оливи поділяють на чотири класи. Відповідно до класу в'язкості обмежено допустимі межі кінематичної в'язкості за температури 100 °С та мінусова температура, за якої динамічна в'язкість не перевищує 150 Па·с (табл. 5.61). Така в'язкість вважається граничною, оскільки за неї ще забезпечується надійна робота агрегатів трансмісій.

Залежно від експлуатаційних властивостей та можливих сфер використання оливи для трансмісій автомобілів, тракторів та іншої мобільної техніки зараховано до п'яти груп: «ТМ-1»–«ТМ-5» (табл. 5.60). Позначення трансмісійних олив за ГОСТ 17479.2 наведено у табл. 5.62.

Таблиця 5.61

Класифікація трансмісійних олив за в'язкістю

Клас в'язкості	Кінематична в'язкість за температури 100 °С, мм ² /с	Температура, за якої динамічна в'язкість не перевищує 150 Па·с, °С
9	6,00–10,99	Мінус 35
12	11,00–13,99	Мінус 26
18	14,00–24,99	Мінус 18
34	25,00–41,00	–

Таблиця 5.62

Позначення трансмісійних олив згідно з ГОСТ 17479.2 та відповідність їх до раніше прийнятих марок

Позначення оливи згідно з ГОСТ 17479.2	Нормативно-технічна документація
«ТМ-1-18»	ТУ 38.101110
«ТМ-1-18»	ТУ 38.001280
«ТМ-2-9»	ТУ 38.101701
«ТМ-2-18»	ГОСТ 23652
«ТМ-2-34»	ТУ 38.1011332
«ТМ-3-9»	ТУ 38.1011280
«ТМ-3-9»	ТУ 38.401809
«ТМ-3-18»	ГОСТ 23652
«ТМ-4-9»	ТУ 38.1011238
«ТМ-4-18»	ГОСТ 23652
«ТМ-4-34»	ОСТ 38.01260
«ТМ-5-12з (рк)»	ТУ 38.101844

Стосовно взаємозамінності гідравлічних рідин різних країн-виробників подається наближена відповідність класів в'язкості та експлуатаційних груп трансмісійних олив згідно з ГОСТ 17479.2 до класів в'язкості відповідно до класифікації SAE та груп за класифікацією API (табл. 5.63).

Таблиця 5.53

**Відповідність класів в'язкості та експлуатаційних груп
до класифікацій SAE та API**

Клас в'язкості згідно з ГОСТ 17479.2	Клас в'язкості згідно з SAE	Група згідно з ГОСТ 17479.2	Група згідно з API
9	75W	«ТМ-1»	GL-1
12	80W/85W	«ТМ-2»	GL-2
18	90	«ТМ-3»	GL-3
34	140	«ТМ-4»	GL-4
		«ТМ-5»	GL-5

Якісні показники трансмісійних олів для автомобільної техніки наведені в таблиці 5.64.

Таблиця 5.64

Показники якості трансмісійних олів

Основні показники	Оливи для циліндричних, спіральноконічних і черв'ячних передач		Універсальна олива	Для гіпоїдних передач	
	ТМ-3-9 (ТСп-10)	М-3-18 (ТСп-15К)		ТМ-5-18 (ТАД-17и)	ТМ-4-18 (ТСп-14grin)
	ГОСТ 23652				ТУ 38.1011238
В'язкість, мм ² /с - за $t = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$, не менше ніж - за $t = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$, не менше ніж	10 55–60	15 95–100	17,5 110–120	14 95–100	9 ≤ 36
В'язкість динамічна, Па·с, за $t =$ мінус $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ (мінус $20\text{ }^{\circ}\text{C}$), не більше ніж	9–25	75	100	(75)	1–2
Індекс в'язкості, не менше ніж	90	90	100	85	140

Закінчення табл. 5.64

Температура спалаху у відкритому тиглі, °С, не нижче ніж	128	185	200	215	160
Температура застигання, °С, не вище ніж	Мінус 40	Мінус 25	Мінус 25	Мінус 25	Мінус 50
Мастильні властивості: - індекс задирання, Н, не менше ніж - навантаження зварювання, Н, не менше ніж	470 3479	539 3479	568 3687	588 3920	490 3283
Приблизний температурний діапазон використання, °С	Мінус 40–140	Мінус 25–150	–	Мінус 25–130	Мінус 50–100

Характеристика експлуатаційних груп трансмісійних олив надана в таблиці 5.65.

Таблиця 5.65

Експлуатаційні групи трансмісійних олив

Найменування властивості, що визначається	Група олив			
	«ТМ-1», «ТМ-2»	«ТМ-3»	«ТМ-4»	«ТМ-5»
Гранична навантажувальна здатність за навантаженням зварювання (P_3), Н, не менше	2700	2760	3000	3280
Протизношувальна властивість за показником зношування D_3 за осьового навантаження 392 Н за (20 ± 5) °С протягом 1 год, мм, не більше ніж	0,5	–	–	0,4

Трансмісійні оливи без присадок останнім часом випускають дуже рідко (для застарілих видів техніки), і виробляють

такі оливи за спеціальним замовленням споживача. Значно скоротився ринковий асортимент трансмісійних олив сьогодишнього покоління, що спричинено значним скороченням експлуатації старих автомобілів, тракторів, екскаваторів та інших видів транспортних, будівельних і сільськогосподарських технічних засобів.

Масильні властивості олив оцінюються за хімічним складом, фізико-хімічними показниками й за даними випробувань у лабораторних умовах на чотирикульковій машині тертя.

Для класифікації трансмісійних олив за в'язкістю найбільшого розповсюдження і визнання у світі одержала система, розроблена SAE. Відповідно до SAE J 306 трансмісійні оливи поділяються на 7 класів в'язкості: чотири зимові (70W-85W) та три літні (90–250). Для всесезонних трансмісійних олив прийнято подвійну назву, при чому перше число відповідає зимовому класу в'язкості за низькотемпературними властивостями, а друге – літньому класу за високотемпературними.

Специфікація SAE використовується виробниками автомобільних трансмісій за визначенням і рекомендацією трансмісійних олив для ведучих мостів і механічних коробок передач, а також виробниками олив під час розроблення нових сумішей, у виробництві та маркуванні готових продуктів (табл. 5.66).

В'язкість трансмісійної оливи повинна вибиратися з урахуванням найбільшої та найменшої температури навколишнього середовища, за яких планується експлуатація автомобіля. Виходячи з цього, класифікація SAE J306 ґрунтується на показниках низькотемпературної та високотемпературної в'язкостей. Показник низькотемпературної в'язкості оцінюється визначенням температури, за якої олива за Брукфільдом сягає значення 150000 сР. В'язкість визначається за методом ASTM D2983-87 (1997) «Стандартний метод визначення низькотемпературної в'язкості автомобільних олив вимірюванням на віскозиметрі Брукфільда». Показник високотемпературної в'язкості оцінюється на основі значення кінематичної в'язкості оливи за температури 100 °С. Визначається за методом ASTM D 445-97 «Стандартний метод визначення кінематичної в'язкості прозорих і непрозорих рідин».

**Ступені в'язкості олів для механічних трансмісій
(SAE J306 JUL98)**

Ступінь в'язкості за SAE	Максимальна температура, за в'язкості 150 000 сП, °C	Кінематична в'язкість за температури 100 °C, мм ² /с, (сСт) ^b	
		мінімум	максимум
70W	мінус 55	4,1	–
75W	мінус 40	4,1	–
80W	мінус 26	7,0	–
85W	мінус 12	11,0	–
80	–	7,0	< 11,0
85	–	11,0	< 13,5
90	–	13,5	< 24,0
140	–	24,0	< 41,0
250	–	41,0	–

Примітки: ^a)За методикою ASTM D 2983; ^b)За методикою ASTM D 445.

Значення кінематичної в'язкості за високої температури дозволяє опосередковано судити про величину здатності до навантаження захисної плівки та її необхідної кількості до захисту передач у режимі високих робочих температур і навантажень.

Класифікація за призначенням. Єдиної системи класифікації трансмісійних олів за експлуатаційними властивостями, якістю та призначенням немає. Загальновизнаною в усьому світі є система класифікації API, що стосується олів для механічних трансмісій. За цією системою оливи позначаються знаком класу API GL. Розрізняють п'ять класів від API GL-1 до API GL-5 і декілька проектних.

За системою API GL оливи поділяються на класи якості. Основними ознаками класифікації є конструкція й умови роботи передачі, додатковими ознаками – вміст протизношувальних і протизадирних присадок.

API GL-1: оливи для передач, що працюють у легких умовах; складаються з базових олив без присадок. Іноді додаються в невеликих кількостях антиокиснювальні присадки, інгібітори корозії, легкі депресорні та протипінні присадки; призначені для спірально-конусних, черв'ячних передач і механічних коробок передач (без синхронізаторів) вантажних автомобілів і сільськогосподарських машин.

API GL-2: оливи для передач, що працюють в умовах середньої завантаженості; містять протизношувальні присадки; призначені для черв'ячних передач транспортних засобів; зазвичай використовуються для змащування трансмісії тракторів і сільськогосподарських машин.

API GL-3: оливи для передач, що працюють в умовах середньої завантаженості; містять до 2,7 % протизношувальних присадок; призначені для змащування конусних та інших передач вантажних автомобілів; не призначені для гіпоїдних передач.

API GL-4: оливи для передач, що працюють в умовах різної важкості – від легких, до важких; містять 4,0 % ефективних протизадирних присадок; призначені для конусних і гіпоїдних передач, що мають невелике зміщення осей, для коробок передач вантажних автомобілів, для агрегатів ведучого мосту; оливи API GL-4 призначені також для несинхронізованих коробок передач вантажних автомобілів, тягачів і автобусів (комерційних автомобілів), для головних та інших передач автотранспортних засобів. На сьогодні ці оливи є основними та для синхронізованих коробок передач, особливо в Європі. У такому випадку на етикетці або в листі даних оливи мають бути надписи про таке призначення та підтвердження про відповідність вимогам виробників машин.

API GL-5: оливи для найбільш завантажених передач, що працюють у жорстких умовах; містять до 6,5 % ефективних протизадирних і інших багатофункціональних присадок; головне призначення – для гіпоїдних передач, що мають значне зміщення осей; застосовуються як універсальні оливи для усіх інших

агрегатів механічної трансмісії (окрім коробки передач); для синхронізованої механічної коробки передач застосовуються тільки оливи, що мають спеціальне підтвердження про відповідність вимогам виробників машин. Можуть застосовуватися також для диференціалу підвищеного тертя, якщо відповідають вимогам специфікації MIL-L-2105D (у США) або ZF TE-ML-05 (в Європі). Тоді позначка класу має додаткові знаки, наприклад, API GL-5+ або API GL-5 SL.

API GL-6: оливи для гіпоїдних передач зі збільшеним зміщенням, що працюють в умовах високих швидкостей, великих крутних моментів і ударних навантажень. На даний час клас GL-6 не використовується, оскільки, клас API GL-5 достатньо добре задовольняє найбільш жорсткі вимоги.

API MT 1: оливи для високонавантажених агрегатів. Призначені для несинхронізованих механічних коробок передач потужних комерційних автомобілів (тягачів і автобусів). Еквівалентні оливам API GL-5, але мають підвищену термічну стабільність.

API PGL-2: оливи для передач ведучих мостів потужних комерційних автомобілів (тягачів і автобусів) і мобільної техніки. Еквівалентні оливам API GL-5, але мають підвищену термічну стабільність і поліпшену сумісність з еластомерами.

Для механічних коробок передач (окрім гіпоїдних), в основному застосовують оливи API GL-3 і API GL-4; для гіпоїдної головної передачі застосовують: API GL-4 – для середньонавантажених передач і API GL-5 – для сильно навантажених передач, зокрема й гіпоїдних зі значним зміщенням осей. Нафтокомпанії випускають універсальні оливи, призначені як для коробки передач з синхронізаторами, так і для сильно навантажених гіпоїдних передач. Окрім класифікації за API на практиці часто використовують специфікацію армії США (табл. 5.67).

Оливи для автоматичних коробок передач. Олива для автоматичної коробки передач – особливий вид оливок. До них висуваються більш високі вимоги щодо в'язкості, антифрикційних і протиокиснювальних властивостей, ніж для інших агрегатів.

Оскільки автоматичні коробки містять декілька повністю різноманітних вузлів – гідротрансформатор, шестерінчасту коробку передач, складну систему керування, – спектр функцій оливи досить широкий. Динамічні навантаження менші, ніж у звичайних коробках передач, через відсутність жорсткого зв'язку між двигуном і трансмісією.

Таблиця 5.67

Класифікація трансмісійних олив MIL USA

Найменування	Сфера експлуатаційного призначення
MIL-L 2105 A	Для коробок передач автомобілів, що приблизно відповідають вимогам API GL-4
MIL-L 2105 B	Для гіпоїдних передач, що приблизно відповідають вимогам API GL-5
MIL-L 2105 C	Для всесезонних трансмісійних олив класів в'язкості 75W, 80W-90, 85W-140. Вони перевищують специфікацію MIL-L 2105 B і відповідають вимогам API GL-5

Конструкція автоматичної коробки передач така, що якщо з двигуна знімається потужність більша, ніж потрібно для переборювання дорожнього опору, її надлишок витрачається на внутрішню тертя оливи, що ще більше нагрівається. Високі швидкості руху потоків оливи в гідротрансформаторі та температура викликають інтенсивну аерацію, що призводить до спінювання, що створює сприятливі умови для окиснення оливи й корозії металів.

Різноманіття матеріалів у парах тертя (сталь – сталь, сталь – металокераміка, сталь – бронза, сталь – фрикційна прокладка) ускладнює підбір антифрикційних присадок. Різноманітні матеріали деталей, кисень, вода, олива утворюють електрохімічні пари, що активують корозійне зношування.

Для автоматичної коробки передач застосовуються оливи двох типів, що відповідають вимогам основних виробників автомобілів – «General Motors» і «Ford». Вони носять фірмові назви – Dexron® і Mercon®. Етапи розвитку олив для автоматичної коробки передач подано в табл. 5.68, 5.69.

Таблиця 5.68

**Гатунки і етапи розвитку олив для автоматичної
коробки передач «General Motors»**

Модифікація	Рік затвердження
Type A	1949
Type A, Suffix A (TASA)	1957
Dextron B	1967
Dextron II C	1973
Dextron II D	1981
Dextron II E	1991
Dextron III (F)	1993
Dextron III (G)	1997
Dextron IV	1999

Таблиця 5.69

**Гатунки і етапи розвитку олив для автоматичної
коробки передач «Ford»**

Модифікація	Рік затвердження
M2C33-B	1959
M2C33-D	1961
M2C33-F (Type F)	1967
SQM2C9007A, M2C33-G (Type G)	1972
SQM2C9010A, M2C138-CJ (Type CJ)	1975
ESPM-2C166-H (Type H)	1981
Mercon	1987
Mercon	1993
Mercon V (M2C202 B, Type B)	1998

Оливи для забезпечення надійної та ефективної роботи агрегатів і вузлів трансмісій повинні мати цілий комплекс надійних експлуатаційних властивостей: високу мастильну здатність, що забезпечують добрі протизношувальні та антифрикційні властивості; високу термічну стабільність і стійкість до окиснення; антикорозійну стійкість, протипінні властивості, сумісність з ущільнювачами, стійкість під час зберігання, а також взаємозмішування.

5.3. Властивості та якість турбінних олив

У виборі оливи для механічних трансмісій керуються такими критеріями.

- ступінь в'язкості за SAE;
- клас якості та призначення.

У сертифікаті даних до списку типових характеристик трансмісійних олив разом з класом в'язкості за SAE, надаються такі параметри:

- густина;
- кінематична в'язкість за температури 40 °С;
- кінематична в'язкість за температури 100 °С;
- індекс в'язкості;
- в'язкість за Брукфільдом;
- температура спалаху;
- температура застигання.

Ці показники є орієнтовними у разі вибору оливи за в'язкістю та температурою застигання, а також для ідентифікації. Однак вони не характеризують експлуатаційні властивості оливи.

Для визначення класу якості трансмісійних олив визначають такі **експлуатаційні властивості**:

- несуча здатність;
- пошкодження шестерень за низької швидкості та великому обертовому моменті;
- задирання шестерень за високої швидкості та ударних навантажень;
- навантаження до появи задирання прямозубної циліндричної шестерні;
- термічна стійкість та стійкість до окиснення;
- чистота деталей;
- високотемпературна циклічна стійкість.
- піноутворення;
- антикорозійна стійкість:
- випробування на корозію на мідній пластинці;
- захист від корозії за наявності води.
- сумісність з ущільнювачами;
- стійкість під час зберігання;
- взаємозмішування.

В'язкість є властивістю рідкої, напіврідкої або напівтвердої речовини чинити опір під час течії (перетікання). В'язкість оливи виступає важливою фізико-хімічною властивістю, що впливає на силу тертя. Вона залежить від хімічного складу оливи, вищих факторів температури, тиску (навантаження) і швидкості зсуву. Тому разом з числовим значенням в'язкості завжди потрібно зазначити умови її визначення (кінематична, динамічна та низькотемпературна).

Низькотемпературні властивості трансмісійної оливи визначаються температурою застигання. Це критична точка, нижче від якої олива втрачає плинність і не може виконувати функцію змащування. Температура застигання, хоча і не входить до комплексу в'язкісних показників за SAE, але є важливою характеристикою олів, особливо у разі експлуатації в умовах холодного клімату.

Залежність в'язкості від температури. Трансмісійні оливи працюють у досить жорсткому температурному режимі. Температура роботи агрегатів трансмісії сягає 150 °C і вище, а температура старту автомобіля може бути низькою, залежно від температури довкілля. За високих температур олива повинна бути досить в'язкою для підтримки міцності високонавантаженої оливної плівки. Повинен бути високим ІВ оливи. Підвищення ІВ введенням полімерних загущувачів для трансмісійних олів не завжди прийнятне через високі деформації зсуву в навантажених елементах передач. Для високоякісних олів для підвищення ІВ використовують мінеральні базові оливи гідрокрекінгу або синтетичні.

Затрати енергії на тертя залежать від величини в'язкості та температури застигання трансмісійної оливи. Фактична робоча в'язкість в агрегатах трансмісій залежить від температури довкілля та експлуатаційної температури оливи в картері.

Середня експлуатаційна температура дозволяє вибрати в'язкість оливи з мінімальними втратами енергії на тертя. Для автомобільних трансмісій максимальна робоча в'язкість, що не викликає значних затрат на тертя, становить 10–20 Па·с.

За мінімальною температурою оливи визначають граничне значення в'язкості, що забезпечує запуск механізму без підігрі-

вання оливи. Це значення встановлюється експериментально для кожного виду трансмісії та потужності двигуна. Для автомобільних трансмісій граничне значення в'язкості становить 4500 Па·с.

Олива в гідромеханічних трансмісіях рухається з великою швидкістю (80–100 м/с) вузькими каналами між лопатками насосного направляючого коліс і турбіни. Для зниження енергетичних затрат на подолання внутрішнього тертя, в'язкість оливи повинна бути якомога нижчою у всьому діапазоні робочих температур.

Практично в'язкість оливи для гідродинамічних трансмісій повинна бути в межах $4\text{--}8 \text{ м}^2/\text{с}\cdot 10^{-6}$.

Вибір мінімально допустимої в'язкості для запобігання значному витіканню через нещільності агрегатів трансмісій визначає максимальна температура оливи. За в'язкості оливи в автомобільних трансмісіях не нижче $25\text{--}30 \text{ м}^2/\text{с}\cdot 10^{-6}$ значного витікання немає. Нижню межу в'язкості оливи для гідромеханічних трансмісій ($3\text{--}5 \text{ м}^2/\text{с}\cdot 10^{-6}$) встановлюють з міркувань виникнення кавітації та підтікання оливи через ущільнення. Температурні межі застосування певної оливи можна встановити за максимальним і мінімальним значенням в'язкості оливи для агрегатів трансмісії та кривою залежності в'язкості від температури. Чим ширші ці межі, тим кращі експлуатаційні властивості оливи.

Отже, в'язкість трансмісійних олив є комплексним показником і характеризує поведінку оливи як за температур усталеного режиму роботи, так і під час запуску холодного автомобіля. Характерними показниками в'язкості є такі:

1. Кінематична в'язкість за робочої температури, в $\text{м}^2/\text{с}\cdot 10^{-6}$ за еквівалентної температури 100 °С.

2. Мінімальна температура працездатності оливи, нижче від якої динамічна в'язкість оливи є більшою ніж 1500000 Па·с (150 Па·с) і не забезпечує надійне змащування трансмісії.

Збільшення економічності роботи трансмісій автомобілів можна досягти зменшенням в'язкості трансмісійних олив.

Мастильна здатність трансмісійних олив є їх головною функцією, що характеризує особливості та результат процесів тертя і проявляється у здатності оливи знижувати опір

(зменшувати сили тертя) і запобігати зношенню деталей, що труться, за умов гідродинамічного режиму (змащування, за умов розділення поверхонь тертя деталей рідким ММ) і граничного (змащування, коли тертя і зношування між поверхнями, визначаються властивостями поверхонь і властивостями ММ) режимів.

У режимі гідродинамічного тертя мастильна здатність забезпечується в'язкістю базової оливи (тобто товщиною оливної плівки). Однак гідродинамічний режим тертя виникає тільки на периферії контакту зубчастих передач. Безпосередньо у зоні контакту спостерігаються режими змішаного та граничного тертя.

За умов застосування на трансмісійні оливи впливають такі фактори, що викликають зношування, пітинг, заїдання робочих поверхонь:

- температура від мінус 50 °С (оточуючої атмосфери) до 150–170 °С (у підвищуючих редукторах важких гусеничних машин);

- високі питомі навантаження – до 1,5 ГПа (у циліндричних конічних і черв'ячних передачах);

- швидкості зсуву сполучених поверхонь – до 25 м/с (в черв'ячних редукторах);

- режими граничного або змішаного змащування в зонах контакту поверхонь, що труться;

- наявність в оливі продуктів зношування, корозії, води, механічних домішок.

Усі властивості ММ, що забезпечують зниження затрат енергії на тертя та зменшення зношування механізмів можна розділити на дві великі групи властивостей **протизношувальні й антифрикційні**.

Протизношувальні властивості – це здатність оливи зменшувати зношування деталей, що труться, через утворення на них граничного шару, що запобігає контакту цих деталей. Є два основних механізми протизношувальної дії граничного шару;

- **розклинююча здатність** – олива створює граничний шар, що забезпечує високий опір зближенню контактуючих поверхонь твердих тіл під впливом нормального навантаження та

малий опір тангенціальним силам зсуву. Це пов'язано з полярністю молекул і наявністю в них гідроксильних, карбоксильних і інших функціональних груп, у складі яких є кисень, сірка, азот, хлор тощо;

– **модифікуюча здатність** (поліруюча) полягає в здатності окремих елементів ММ взаємодіяти з металом з утворенням нових речовин, відмінних за механічними властивостями від основного металу. В оливах таких компонентів нема. Їх вводять з присадками, що мають поліруючі властивості.

Протизадирні властивості проявляються в здатності оливи запобігати пошкодженню поверхонь, у вигляді борозен, що називають задираннями. Задирання може бути наслідком процесів зварювання або заїдання поверхонь під час тертя.

Трансмійні оливи виготовляють зі суміші дистилатних і залишкових базових основ. Рівень протизношувальних, протизадирних і протипітингових властивостей олив підвищується зі збільшенням їх в'язкості. Що більша в'язкість, то кращі протизношувальні властивості й ще більші навантаження можуть витримувати деталі під час тертя. Зниження в'язкості оливи в умовах застосування внаслідок деструкції загущуючих присадок може призвести до задирання деталей вузлів тертя. На поліпшення несучої здатності шару оливи сприяє місцеве підвищення в'язкості в зоні високого тиску. Однак висока в'язкість зумовлює втрати енергії на подолання внутрішнього тертя. Відносно низька в'язкість оливи дозволяє економити паливо, зокрема, під час запуску та розігрівання агрегатів, що змащуються. Обмеження мінімально допустимого рівня в'язкості трансмісійних олив залежить як від необхідності забезпечення високої мастильної здатності, так і від надійності ущільнень картерів трансмісії.

Для надійності роботи агрегатів трансмісій за певних умов у трансмісійні оливи додають ефективні протизношувальні, антифрикційні та протизадирні присадки, у молекулах яких наявні активні елементи сірки, фосфору, бору, кисню, хлору, що входять у функціональні групи.

Відомі дві групи характеристик протизношувальних властивостей ММ:

До першої групи відносяться – характеристики, що безпосередньо оцінюють протизношувальні властивості, одержані на лабораторних машинах тертя, на стендах, що імітують робочі вузли шестеренчастих і черв'ячних передач, підшипники ковзання або кочення, на стендах з реальними окремими агрегатами трансмісій.

До другої – характеристики, що дозволяють опосередковано судити про протизношувальні властивості ММ.

До прямих характеристик відносяться:

Критична температура – це та, за якої руйнується або плавиться адсорбований шар ММ. Це міра міцності граничної плівки у разі переходу до сухого тертя, що зазвичай не перевищує 200 °С.

Критичне навантаження – тиск, за якого різко збільшується коефіцієнт тертя через руйнування або плавлення адсорбованого граничного шару ММ.

Критичне навантаження зварювання – тиск, за якого відбувається міцне з'єднання двох поверхонь металу, що труться, у формі зварювання.

Критичне навантаження заїдання – тиск, за якого виникає й розвиваються пошкодження поверхонь тертя внаслідок зварювання та перенесення матеріалу.

Показник зношування – результат зношування, що вимірюється обмірюванням або зважуванням деталей, що зношуються, або визначенням якості продуктів зношування у досліджуваному ММ.

Швидкість зношування – це відношення показника зношування до інтервалу часу, протягом якого виникло зношування.

Інтенсивність зношування – відношення показника зношування до обумовленого шляху, на якому відбувалося зношування, або обсягу виконаної роботи.

Узагальнений показник зношування – показник, що враховує навантаження стирання, задирання й зварювання, та є середнім відношенням осьових навантажень до відповідних показників зношування в ділянці 20 послідовних навантажень, що передують навантаженню зварювання.

До опосередкованих характеристик відносять:

Масова частка активних елементів, що містяться в оливі після додавання до неї протизношувальних присадок. Кількість яких у кожному випадку повинна бути оптимальною.

Показники фізико-хімічних властивостей оливи (вміст сірчистих і смолистих речовин, густина, в'язкість, кислотність, вміст води, крайовий кут змочування) дозволяють опосередковано прогнозувати протизношувальні властивості оливи.

Антифрикційні властивості. Це здатність оливи зменшувати затрати енергії в механізмах і агрегатах трансмісії, що залежать від коефіцієнту тертя.

Коефіцієнт тертя – відношення сили тертя між двома тілами до нормальної сили, що притискає ці тіла одне до одного.

Сила тертя – сила опору під час відносного переміщення одного тіла по поверхні іншого під дією зовнішньої сили, що тангенціально скерована до загальної межі між двома тілами.

У разі гідродинамічного режиму тертя затрати на подолання сил тертя визначаються тільки силами внутрішнього тертя оливи – в'язкістю.

У разі граничного режиму тертя затрати енергії на тертя будуть визначатися коефіцієнтом тертя, що залежить не тільки від в'язкості оливи, але й від властивостей граничного шару оливи (властивостей поверхні).

Рівень антифрикційних властивостей трансмісійної оливи залежить від її складу, умов роботи вузлів тертя (температура, тиск, швидкість відносного переміщення поверхонь тертя), конструкції та матеріалу деталей трансмісії.

У зубчастих передачах внаслідок тертя під час роботи в режимах високих швидкостей ковзання, питомих навантажень в зоні контакту зубців шестерень (1500–2000 МПа) і широкому діапазоні температур (від мінус 50 до 250–300 °С), трансмісійні оливи інтенсивно розігріваються. За підвищених температур вуглеводневі сполуки олив здатні окиснюватися (термоокиснення) і це прискорюється зі збільшенням доступу кисню під час перемішування з повітрям, каталітичного впливу іонів металів (особливо кольорових), механічній напрузі у разі великих швидкостей зсуву тощо.

Окиснення вуглеводнів у трансмісійних оливах є багатостадійним процесом, на початку якого накопичуються вихідні продукти – перекиси, що в подальшому різко прискорюють процес. На цьому етапі, що має назву індукційний, фізичні властивості оливи не змінюються. Його тривалість слугує показником стійкості оливи до окиснення.

У наступному етапі починаються реакції окиснення, що самоприскорюються, і фізичні та хімічні властивості оливи помітно змінюються. Утворюються кислоти, смоли, збільшується в'язкість трансмісійної оливи. Це сприяє утворенню відкладів на нагрітих поверхнях, що може призвести до підвищеного зношування. Кислі продукти окиснення своєю чергою сприяють корозії металів. Усі вище зазначені процеси погіршують експлуатаційні властивості, через що стійкість оливи до окиснення є однією з основних експлуатаційних властивостей оливо.

За реальних умов експлуатації автомобілів термоокиснення оливи є складним процесом, що залежить від багатьох факторів: температури оливи і деталей трансмісії, взаємодії з продуктами згорання тощо.

Для оцінювання окиснювальної стійкості трансмісійних оливо використовують лабораторні, стендові та моторні методи дослідження.

Лабораторні дослідження застосовують для прогнозування терміну служби оливи та її поведінки під час експлуатації. Їх виконують у разі розробки нових оливо з базовими оливами й готовими продуктами для визначення ефективності присадок. Оцінка антиокиснювальної стабільності закладена в нормативні документи на трансмісійні оливи та за багатьма методами, розробленими окремими компаніями.

Основні характеристики термоокиснювальної стабільності:

- індукційний період окиснення (визначення швидкості витрати кисню);
- стійкість до термоокиснення (показник, що оцінює стійкість до утворення нагару на гарячих поверхнях) і визначається за ГОСТ 23175;

– схильність до коксування (утворення твердого коксу під час нагрівання оливи без доступу кисню) визначається методом Конрадсона і ГОСТ 19932, ГОСТ 8852;

– зміна лужного числа.

Умови роботи трансмісійних оливи такі:

– постійна висока температура до 150 °С;

– інтенсивне перемішування;

– наявність кольорових металів – можливих каталізаторів окиснення;

– вплив великих навантажень і високої швидкості зсуву.

Під час стендових випробувань трансмісійна олива піддається окисненню у шестеренчастій машині.

Для зниження швидкості та глибини окиснення вуглеводнів, утворення смол, лаків, осаду в оливу вводять антиокиснювальні присадки. Антиокиснювачі вступають в реакцію з вільними радикалами та гідроперекисами, перетворюючи їх в інертні розчинні в оливі продукти.

Основною причиною передчасного руйнування конструкційних матеріалів трансмісії є корозія металів. Корозія є супутницею процесів утворення відкладів та зношування деталей механізмів, що в кінцевому результаті зменшує ефективність і надійність техніки, погіршує експлуатаційні властивості оливи. Трансмісійні оливи повинні запобігати корозії не тільки в процесі роботи, але й у неробочому стані під час зберігання.

Сучасні трансмісії виготовляють з легованих сталей та використовують окремі деталі (синхронізатори, бронзові втулки тощо) з кольорових металів (міді, свинцю олова та їх сплавів). У присутності вологи сталеві деталі під час зберігання піддаються електрохімічній корозії, а кольорові – хімічній корозії продуктами окиснення оливи, тому до протикорозійних властивостей оливи висувають особливі вимоги.

Корозійну стійкість трансмісійних оливи оцінюють методикою в умовах перемінного контактування з повітрям. Результат корозії оцінюють втратою маси досліджуваної металевої пластинки відносно її поверхні у $г/м^2$ за певних умов випробування.

До складу присадок, що мають добрі антикорозійні властивості, входять сульфонат кальцію, окиснений петролатум, нейтралізовані нітровані оливи.

Корозійні властивості оливи визначаються двома методами:

Лабораторними методами властивості оливи оцінюють за такими характеристиками:

- вмістом водорозчинних кислот і солей,
- кислотним числом,
- вмістом сірки та води,
- за характером корозії мідної або ж іншої металевої пластинки.

Під час **моторних і стендових** випробувань антикорозійні властивості визначаються спільно з іншими характеристиками оливи.

Найчастіше корозійність оливи визначають методом металевої пластинки. Оскільки корозія не однаково діє на різні метали, то випробування проводять з металами, що найбільш вразливі до корозії та контактують з оливою.

Корозійність трансмісійної оливи визначають окремо для міді, мідних сплавів і сталі. Корозію кольорових металів оцінюють на пластинках з цього металу, витримуванням його у гарячій оливі протягом встановленого часу та подальшою візуальною оцінкою уражень поверхні та зміною кольору поверхні або її структури.

Для захисту деталей трансмісій від корозії у трансмісійні оливи вводять інгібітори корозії. Антикорозійні присадки гальмують процес окиснення, знижуючи концентрацію агресивних елементів в оливі, або ж нейтралізують кислі продукти, що утворилися, або утворюючи на поверхні металу захисні плівки, унеможливають безпосередній контакт металу з розчиненими в оливі корозійно-агресивними сполуками.

Присадки EP – ефективні протизадирні присадки трансмісійної оливи допомагають уникати заїдання механізмів і захищають від зношування; Ефективна стійкість до зсуву дозволяє забезпечити постійну в'язкість протягом терміну служби. Присадки містять сполуки сірки, хлору і фосфору, через що є

агресивними до мідних сплавів. Тому корозійність цих олив визначається пробою на мідній пластинці за ГОСТ 2917. За цим самим стандартом випробовують і сталеві пластинки. Корозійність оливи в присутності води визначають згідно з ГОСТ 19199.

У процесі роботи зубчастих передач трансмісійна олива піддається інтенсивному перемішуванню, внаслідок якого у неї потрапляє повітря й утворюється піна. Агрегати трансмісій розраховані на утворенні деякої кількості піни, що не повинна виходити через сапуни. Піна руйнує структуру змащувальної плівки на поверхні металу, через що погіршуються змащувальні та захисні властивості оливи, прискорюється окиснення компонентів оливи, збільшується концентрація кислих корозійно-активних продуктів окиснювальних перетворень, зменшується продуктивність оливного насосу. Хімічний склад оливи, її в'язкість, поверхневий натяг, наявність присадок і умови експлуатації впливають на інтенсивність піноутворення та стабільність піни. Інтенсивність піноутворення підвищується з підвищенням температури та зменшенням густини, однак зменшується стабільність піни. Оливи з меншою в'язкістю піняться менше. Наявність в оливі мийних, в'язкісних, протизношувальних, антикорозійних присадок і води посилюють піноутворення. Прорив оливної піни є першою ознакою наявності води в оливі.

Додавання спеціальних присадок, особливо силіконових рідин, зменшує піноутворення.

У вузлах трансмісій наявні еластомерні деталі (сальники, манжети, прокладки тощо). Стійкість цих деталей під час тривалого контакту з оливою оцінюється залежно від складу та типу еластомеру.

Оскільки в еластомери додають протиокиснювальні, антифрикційні та інші добавки, то під впливом оливи й мастила деталі з них можуть набухати або втрачати свою еластичність (тверднути). Оливи для гіпоїдних передач завжди перевіряють щодо впливу на еластомери. Зміна об'єму еластомеру не повинна бути більшою ніж 6 %, однак на практиці допускається до 15 %. Негативно впливають на еластомери протизадирні присадки (EP).

До їх складу входить сірка, під дією якої вулканізується резина при цьому вона твердне і зменшується в об'ємі.

Вплив оливи на еластomersи визначається стандартними методами, зокрема, за ISO 1817, DIN 53 521, ASTM D 471, ASTM D 2240, IP 278, ГОСТ 9.030. Досліджується, наприклад, зміна влативостей зразків чотирьох еталонних гумових виробів під час їх витримування в оливі протягом встановленого часу за певних умов. Оцінюють за такими показниками:

- збільшення твердості, од. DIDC;
- зміна напруги розриву, %;
- зміна розтягнення (подовження) до розриву, %;
- зміна об'єму, %; (збільшення (+), зменшення (-)).

Питання для самостійної роботи

1. Охарактеризуйте призначення та функції трансмісійних оливо;
2. Які експлуатаційні властивості трансмісійних оливо?
3. Яка функція мастильної здатності трансмісійних оливо та які фактори впливають на їх застосування?
4. Які присадки додають для надійності роботи агрегатів трансмісій за певних умов у трансмісійні оливи?
5. Які групи характеристик протизношувальних властивостей мастильних матеріалів ви знаєте та які характеристики до них відносяться?;
6. Що таке в'язкість і в'язкісно-температурні властивості?
7. Що впливає на термічну та хімічну стабільність трансмісійних оливо?
8. Антикorozійні властивості та методи їх визначення;
9. Причини утворення піни та її вплив на експлуатаційні властивості?
10. Сумісність з еластомерами
11. Якими критеріями керуються у виборі оливи для механічних трансмісій?
12. Які експлуатаційні властивості визначають клас якості трансмісійних оливо?
13. Класифікація трансмісійних оливо;
14. На які групи поділяються трансмісійні оливи за експлуатаційними властивостями?
15. Система класифікації API;
16. Класифікація трансмісійних оливо за ГОСТ 17479.2;

РОЗДІЛ 6

ВЛАСТИВОСТІ ТА ЯКІСТЬ БІОЛОГІЧНИХ ОЛИВ

Зростання загрози глобальної екологічної кризи вимагає принципово нового підходу до розв'язання проблем запобігання забрудненню навколишнього середовища та створення замкненого кругообігу діоксиду вуглецю. ММ, як свіжі, так і відпрацьовані, є одним з джерел забруднення біо-, гідро-, літо- і атмосфери.

Однією з головних причин цього є низьке біорозщеплення олив, особливо з нафтової сировини та на основі синтетичних вуглеводнів. Відзначимо, що деякі нафтові та синтетичні ММ (та їх компоненти) – екотоксичні продукти.

Альтернативою цьому можуть бути олії рослинного й жири тваринного походження, з високим біорозщепленням (до 100 %), відновлюваністю та не токсичні. Використання цих продуктів можливе для виробництва всіх видів ММ – олив, пластичних мастил, МОТЗ, технологічних мастил. Окрім того важливим аргументом на користь застосування рослинних олій є обмеженість ресурсів нафти, газу й вугілля та необхідність пошуку нових джерел сировини. Причому в даному випадку суттєву роль відіграє відновлюваність сировини, що підсилює значення розвитку цього напрямку.

6.1. Загальна характеристика та основи технології отримання

У сучасній техніці жири (в основному рослинні олії) використовують як спеціальні ММ – перш за все як технологічні мастила і компоненти МОТЗ у процесах металообробки (водні емульсії пальмоядрової та коріандрової олій для змащування валків прокатних станів). До недавнього часу досить широко використовували рицинову олію як моторну для гоночних автомобілів. Значна кількість жирів на даний час витрачається на виробництво присадок до ММ. Вітчизняною промисловістю рослинні та тваринні жири, а також жирні кислоти, що

одержують з них, використовуються як компоненти у виробництві багатьох ММ, найперше, пластичних мастил і МОТЗ, а також деяких олив спеціального призначення (наприклад, годинникових).

Вказана проблема представляє практичний інтерес як для розвинутих держав, так і для тих, що розвиваються. Останні в цьому випадку мають можливість замість імпорту нафтових і синтетичних ММ використовувати власну сільськогосподарську продукцію. У європейських державах (членах ЄС) важливим фактором для розширення технічного застосування рослинної та тваринної сировини є також прагнення уникнути надвиробництва харчових продуктів..

За хімічним складом тваринні та рослинні жири є повними складними ефірами гліцерину і вищих одноосновних карбонових (жирних) кислот. Це тригліцериди з парним числом вуглецевих атомів в ацилатній групі. Поряд з вуглеводнями і білками жири – одна з основних груп речовин, що входять до складу всіх тваринних і рослинних організмів, тобто продукти чистого біосферного походження.

До складу жирів найчастіше входять стеаринова і пальмітинова, з ненасичених – олеїнова і лінолева кислоти. Це – так звані «неспецифічні» кислоти. До «специфічних» відносять кислоти, характерні лише для певного виду жирів, наприклад, рицинолева кислота в рициновій олії і ерукова – в ріпаковій.

У жирах завжди присутні вільні кислоти (іноді й спирти), мила, фосфатиди, вітаміни, барвники та слизисті речовини. Густина всіх жирів менша 1000 кг/м^3 . Вони не розчинні у воді, зазвичай, погано розчиняються у спирті та добре – в бензині, бензолі, сірковуглеці, діетиловому ефірі, ацетоні, хлороформі, чотирихлористому вуглеці. Жирнокислотний склад деяких рослинних олив подано в таблиці 6.70.

Молекулярна маса й ступінь ненасиченості молекул тригліцеридів визначають **реологічні** властивості рослинних олій. Температура плавлення кислот і їх тригліцеридів здебільшого зростає з молекулярною масою, ступінь ненасиченості молекул має зворотну дію. Так само змінюється і їх в'язкість.

Жирнокислотний склад рослинних олій

Кислота*	рицинова	арахісова	бавовняна	сосва	соняшникова	льняна	ріпакова** (ріпакова)		оливкова	кукурудзяна
							1	2		
Пальмітинова (0)	2	10	21	7-10	4-9	6-7	2	4	7-16	9-19
Стеаринова (0)	1	3	2	3-5	3-6	3-5	1	1	1-3	1-3
Арахінова (0)	-	3	0,5	0,5	0,5	слід	0,5	0,5	-	-
Пальмітолева (1)	-	-	0,5	0,5	-	-	-	-	-	-
Олеїнова (1)	7	50	29	22-31	14-35	20-26	15	60	64-86	26-40
Ерукова (1)	-	-	-	-	-	-	50	2	-	-
Рицинолева (1)	87	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Лінолева (2)	3	30	45	43-58	50-75	14-20	15	20	4-15	40-55
Ліноленова (3)	-	-	1	6-11	0,1	51-54	7	9	0,5-1	1
Ерукова (1)	-	-	-	-	-	-	50	2	-	-
Температура плавлення олій, °С										
	мінус 10-12	мінус 2	мінус 2-2	мінус 20-23	мінус 10	мінус 20	мінус 9	мінус 15	до 4	мінус 6-2

Примітки.

* У дужках подано кількість подвійних зв'язків в молекулі.

** Дані для двох сортів ріпаку.

Тваринні жири поділяють на жири морських тварин і риб – рідкі та наземних тварин – тверді. У рідких жирах морських тварин, що використовують для технічних потреб, переважно міститься до 15 % насичених жирних кислот. Представниками ненасичених жирних кислот є олеїнова (30 %) і кислоти з двома, трьома та навіть чотирма подвійними зв'язками (до 50 %). Такий склад зумовлює низьку температуру застигання жирів (мінус 10 °С) і знижену густину (910–930 кг/м³).

Рідкі рослинні олії поділяють за їх схильністю до висихання. Прийнято розрізняти жири, що висихають, напіввисихають і не висихають.

Детальніша класифікація включає п'ять груп:

- 1) висихають тунгоподібно, містять в найбільшій кількості поліненасичені кислоти – 75 %;
- 2) висихають льоноподібно, містять, в основному, лінолеву та ліноленову кислоти – 78 %;
- 3) висихають макоподібно, що містять 75–90 % лінолевої та олеїнової кислот;
- 4) висихають оливоподібно, що складаються, в основному, з олеїнової кислоти;
- 5) рицинова олія.

Важливим показником, що характеризує можливість технічного застосування жирних олій як ММ є їх висихання, зумовлене хімічним складом.

6.2. Властивості та якість біологічних олив

Трибологічні властивості. Спирти, складні ефіри та вільні жирні кислоти, що є складовими рослинних і тваринних жирів, утворюють на поверхні тертя міцну змащуючу плівку. За мастильними властивостями рослинні олії перевершують нафтові оливи. Зокрема, ріпакова олія за багатьма показниками має кращі характеристики ніж рицинова, кукурудзяна, оливкова, соняшникова олії (табл. 6.71). Результати досліджень трибологічних характеристик гідравлічних та трансмісійних ріпаківих олій показали, що ці олії мають такі самі або кращі механічні властивості ніж нафтові, однак уступають за своєю окисню-

вальною стійкістю. Ріпакова олія з присадками еквівалентна нафтовим оливам, але біорозщеплюється та нетоксична.

Антиокиснювальна стабільність значною мірою визначається наявністю в рослинних оліях природних антиокиснювачів – найперше токоферолів (складні спирти, що є в багатьох рослинних оліях). Найбільше діє δ-токоферол (табл. 6.72).

Таблиця 6.72

Мастильні властивості рослинних олій

Олива	Мастильні властивості		
	критичне навантаження, Н	навантаження зварювання, Н	індекс задиру
Ріпакова	790	2000	43,5
Арахісова	790	1410	32,0
Соняшникова	790	1580	35,4
Кукурудзяна	790	1410	35,0
Рицинова	630	1410	34,7
Оливкова	790	1410	33,1

Таблиця 6.72

Вміст токоферолів в оліях

Олія	Загальний вміст, млн ⁻¹	Ізмери токоферолів, % від загального вмісту		
		А	γ	δ
Соева	90–280	13,5	59,0	27,5
Кукурудзяна	100–250	11,0	89,0	–
Бавовняна	80–100	58,0	42,0	–
Соняшникова	Біля 70	92,0	–	–
Ріпакова	Біля 50	27,0	73,0	–
Кокосова	3–8,5	–	–	–

Природним антиокиснювачем у бавовняній олії є **госсипол** (поліфенол з двома карбонільними групами в молекулі). У деяких оливах є свої специфічні природні антиокиснювачі, наприклад, соняшниковій – похідні фурану та піразину. Доволі стійка до окиснення соєва олія з підвищеним вмістом пальмітинової кислоти та пониженим вмістом лінолевої. В оліях збільшення вмісту

мононенасиченої олеїнової кислоти та зменшення вмісту поліненасичених жирних кислот підвищує їх антиокислювальну стабільність. Антиокиснювальну стабільність ріпакової олії зменшує процес рафінації.

У нашій державі основу оливної сировинної бази становлять вирощувані однолітні олійні рослини, що дають рідкі олії: соняшник, льон-кучерявець, рицина, гірчиця, ріпак озимий, рижик, сафлор, а також прядильні культури комплексного використання, що містять олію в насінні: бавовна, льон, конопля. Усі рослинні олії, що одержують у нас – рідкі продукти.

Перспективним напрямом є праці з виведення олійних культур із заданим складом жирних кислот, що є важливим для більш раціонального використання олій як харчових і технічних продуктів. Сюди відноситься розведення соняшника, а також деяких дикоростучих видів, олії яких містять близько 80 % олеїнової кислоти.

Та обставина, що сировиною для виробництва ММ можуть бути й оливи з насіння рослин, що виростили на територіях, забруднених радіонуклідами або важкими металами є надзвичайно важливою. Посіви цих культур сприяють поступовому очищенню ґрунту, оскільки основна маса забруднень концентрується в стеблах, листі та корінні рослин; одержувані рослинні олії забруднені меншою мірою після відповідного очищення можуть використовуватися як компоненти товарних продуктів. Відходи, одержані після одержання олії (жмихи, шроти), спалюють з утилізацією тепла, а забруднена зола подається на захоронення. Таким чином, окрім одержання олій для технічних потреб, можливе поступове відновлення забруднених ґрунтів. Роботи в цьому напрямі з успіхом виконуються у США і Німеччині (фірма «Хенкель»).

У виробництві олив і інших ММ найчастіше застосовують олії напіввисихаючі (соняшникову, бавовняну, ріпакову) і рицинову, а також кокосову та пальмову.

За обсягом посівів олійних культур перше місце займають США – 29 млн га, друге – Індія – 25 млн га, (~ 10 % від всіх земель, які культивуються в країні).

Виробництво рослинних жирів ґрунтується – на холодному або гарячому пресуванні оливонасіння, екстракції або комбінуванні цих методів. Комбіновані способи найефективніші, оскільки пресуванням спочатку одержують високоякісні харчові олії, а наступна екстракція бензином дозволяє виділити зі жмиху, що залишився, олії, що використовують для технічних потреб. Для екстрагування олій з насіння ріпаку, сої, соняшника можна застосовувати ефективні полярні розчинники (метанол або етанол). Широкого застосування для вилучення олій з насіння та відходів виробництва олій набуває процес рідинної екстракції вуглекислим газом у надкритичних умовах.

Часто для поліпшення якості одержуваної олії сировину перед пресуванням або екстракцією піддають термомеханічному, хімічному обробленню, дії електричного струму або ж комбінації перерахованих методів.

Сьогодні відновлюваною сировиною для виробництва ММ можуть використовуватися рослинні та тваринні жири, одержані після попереднього очищення – рафінації, побічні продукти перероблення жирів – дистильовані жирні кислоти, продукти хімічного перероблення жирів – складні ефіри, полімерні та сульфоновані сполуки, а також відходи рафінації – жирові гудрони, саапстоки.

Виробництво соєвої олії в світі зростає, хоча й не так стрімко, як пальмової. Останніми роками зростання виробництва соєвої олії у світі забезпечують США – 24,2 %, Бразилія – 19,2 % та Китай – 18 %.

На сьогодні світове виробництво олієнасінних плодів сягає 300 млн т/рік при одержанні з них біля 110 млн т/рік олій. Виробництво тільки чотирьох з них – пальмового, соєвого, ріпакового й соняшникового становить 73 млн т/рік.

Найпотужнішими виробниками олійного насіння є США, Китай, Бразилія, Аргентина, Індія, Індонезія, Німеччина. У табл. 6.73 надано показники світового виробництва рослинних олій.

У 2017–2018 рр. світове виробництво восьми ключових видів рослинних олій – соєвої, ріпакової, пальмової, соняш-

никової, бавовняної, кокосової, арахісової – збільшиться на 3,6 % в рік – до 187,1 млн тонн.

Таблиця 6.73

Світове виробництво основних рослинних олій

Олія	Виробництво, млн т/рік
Соева	28
Пальмова	24
Ріпакова	13
Соняшникова	8

Ріпакова олія посідає третє місце за обсягами виробництва після соєвої та пальмової. За виробництвом ріпакової олії першу позицію займають Індія та Китай, частка яких становить 40 % світового виробництва. Німеччина виробляє 40 % (від загального виробництва в Європі). Серед інших провідних виробників даного виду олії можна виділити Канаду, що забезпечує 9–12 % світового виробництва.

Рицинова олія завдяки унікальності своїх властивостей – невисиханню, високій в'язкості та порівняно низькій температурі застигання – здавна використовується у виробництві ММ. Вона єдина рослинна олія, у складі якої є до 85–90 % рицинолевої кислоти. Тому вона є єдиним джерелом промислового одержання гідрогенізацією рицинової олії 12-оксистеаринової кислоти – найважливішого компонента у виробництві літєвих і інших мастил. Ця обставина вимагала розширення виробництва рицинової олії. Так, у США вже з 1950 р. почали культивувати власні плантації рицини. Однак, не дивлячись на перераховані фактори, світове виробництво рицинової олії у 1964–68 рр. лише незначно перевищувало 0,8 млн т, а в наступні роки почало знижуватися.

Нижче подані відомості щодо вмісту олій (%) в насінні (табл. 6.74) та плодах (табл. 6.75) деяких олійних рослин:

Таблиця 6.74

Вміст олій у складі насіння олійних рослин

Насіння	Вміст олій, %
Рицини	58–70
Ріпаку	36–40
Льону	29–48
Соняшнику	29–65
Сої	18

Таблиця 6.75

Вміст олій у плодах олійних рослин

Плоди	Вміст олій, %
Кокосова пальма	65–72
Оливкового дерева (оливки, м'якоть)	23–49
Коноплі	30–38

З сучасної точки зору як основа або компонент ММ оптимальним варіантом за доступністю, вартістю та фізико-хімічними характеристиками є ріпакова олія. За кордоном цей продукт вже давно використовують як оливу спеціального призначення або додаток до ММ (в Європі перш за все вона використовується як базова олива). У зв'язку з загостренням екологічних проблем ріпакова олія в найближчому майбутньому може витіснити до 40–50 % нафтових моторних і трансмісійних олив.

Залежно від ступеня очищення жири поділяють на рафіновані та нерафіновані. Найпростішими методами рафінації є відстоювання, центрифугування та фільтрування. В осаді, що відділяється, залишаються механічні домішки, білки та слизисті речовини, обмежено розчинні в жирі, та велика кількість жиру (45–75 %). Такі осаді, так звані фуси, використовують для одержання ММ, що застосовуються в металообробці (прокатка сталевих виробів, інші операції обробки тиском).

Хімічні методи рафінації полягають в обробленні жирів водою (за 40–50 °С, гідратація) або слабим розчином лугу (лужна рафінація). У разі гідратації колоїдорозчинні в жирах фосфатиди, білкові та слизисті речовини набухають, їх розчинність знижується, і вони легко відділяються центрифугуванням або фільтропресуванням. Лужна рафінація застосовується ширше. Вільні жирні кислоти нейтралізуються з утворенням нерозчинних у жирах мил, а білкові та слизисті речовини гідратують. Мило, що має високу абсорбційну та адсорбційну здатність, осідаючи, захоплює з собою значну частину небажаних компонентів – білки, слизь, пігменти, механічні домішки. З утвореного осаду, так званого соапстоку з вмістом 50–80 % жиру, виділяють жирні кислоти, що застосовуються в миловарінні, виробництві пластичних мастил тощо. Відомі також технології лужної рафінації із застосуванням електромагнітного поля.

Для вилучення олій з насіння збільшується значення біотехнологій, зокрема, використання штамів мікроорганізмів, так звана ферментативна екстракція.

Для досягнення оптимальних експлуатаційних властивостей (перш за все трибологічних) ріпакову олію необхідно очистити від низки компонентів, що понижують стабільність продукту під час зберігання, надають йому неприємного запаху та темного забарвлення. Процес очищення відбувається в кілька стадій, таких як: вилучення домішок, нейтралізація, адсорбційне очищення, дезодорація (рис. 6.24). Високий ступінь очищення передбачає незначний вміст у рафінаді жирних кислот з короткими боковими ланцюгами (переважно з вмістом кислоти C₁₈ і більше).

Перестирифікація одноатомними спиртами жирів є основним промисловим процесом одержання базових олив складно-ефірного типу. Найпоширенішим способом одержання з рослинних олій складних метилових, етилових і бутилових ефірів є реакція алкоголізу – обміну спиртів у складних ефірах (у присутності як каталізаторів лугів або оксидів лужних металів). Доволі вигідним є використання метанолу як дешевого реагенту з високою глибиною алкоголізу за помірних температур.

Новим процесом зменшення ненасиченості молекул є **димеризація**, використовується як для одержання олив, так і для одержання присадок до олив.

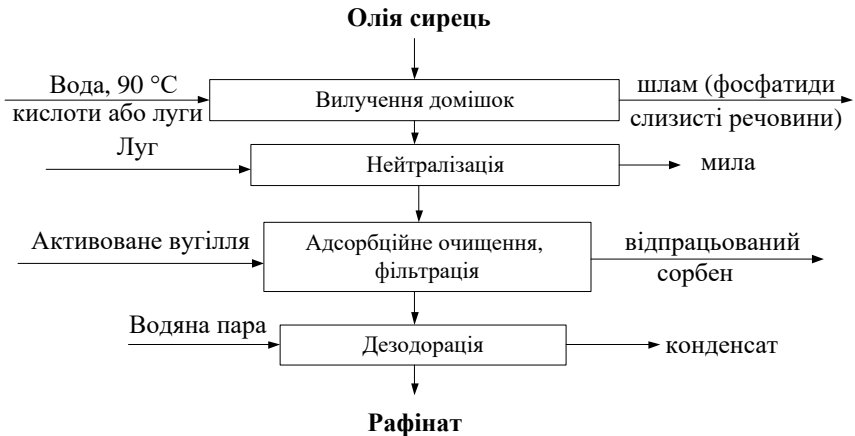


Рис. 6.24. Схеми рафінації ріпакової олії

Поліпшенню стабільності олії може сприяти **окиснення** її нестабільних компонентів (одержання стабільних сполук), продуванням через оливу повітря або ж чистого кисню за помірних температур. Це сприяє також збільшенню в'язкості малов'язких олив. Для подальшого поліпшення стабільності можливе проведення контактного очищення активованим вугіллем або глинистим мінералом.

Також для поліпшення стабільності та підвищення в'язкісних характеристик застосовують **сульфування** жирів. Усі сульфовані жири мають підвищену розчинність в нафтових оливах (найперше нафтової основи).

Піроліз сирих або рафінованих олив, їх складних метилових ефірів, клітинної або ж рослинної біомаси є більш глибоким процесом перероблення жирової сировини і біомаси. Продуктами

піролізу є вуглеводні різних класів, придатні для виробництва палив і олів.

Останнім надбанням в царині перероблення жирів є **біотехнологія**, зокрема генна інженерія. Роботи в даному напрямі виконуються у всьому світі та в майбутньому займуть важливе місце в розв'язанні сировинних проблем цивілізації.

Рослинні олії добре суміщаються між собою та з нафтовими олівами. Змішуванням між собою різних рослинних олій можна одержати продукти необхідної в'язкості. Змішуючи в певних співвідношеннях бавовняну та рицинову олії, одержують рослинну олію з в'язкістю 8, 10, 12, 14, 16 і 18 мм²/с за температури 100 °С. Порівняльна характеристика фізико-хімічних властивостей рослинних олій та нафтових олів «М-8» і «МС-20» подається в табл. 6.75. Рослинні олії, окрім рицинової, мають близькі значення за в'язкістю (7,2–8,6 мм²/с за температури 100 °С). Їх ІВ знаходиться в межах 152–172 а температура спалаху – в межах 224–320 °С. За цими двома показниками та за температурою застигання рослинні олії, окрім пальмової, перевершують нафтові, однак за деякими іншими характеристиками близькі до нафтових олів. Кислотне число рослинних олій вище ніж нафтових олів.

Завдяки цим своїм характеристикам рослинні олії можна застосовувати як нафтові індустріальні оливи загального призначення.

Корозійна агресивність рослинних олій невисока. Їх корозійна агресивність стосовно сталі, алюмінію, міді та свинцю (за температури 100 °С протягом 8 год) подається в таблиці 6. Як видно з даних таблиці 6 вона дещо вища, але наближена до корозійної агресивності нафтової оливи марки «И-40А» з 0,5 % депресорної присадки АФК. Тільки соняшникова олія викликає дещо підвищену корозію свинцю.

Таблиця 6.75
Порівняльна фізико-хімічна характеристика рослинних олій та нафтових олів

Найменування показника	Олії							Нафтові оливи	
	ріпа-кова	бавов-няна	соєва	соняш-никова	рици-нова	вино-градна (насіння)	«М-8»	«МС-20»	
Густина за $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, кг/м^3	906,1	918,8	923,7	927,5	1068,7	921,0	877,8	897,0	
В'язкість кінематична, $\text{мм}^2/\text{с}$, за $t = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$	8,1	7,7	7,7	7,9	19,9	7,2	7,5	20,5	
Індекс в'язкості	155	166	166	167	90	163	89	92	
Кислотне число, мг КОН/г	46,4	4,2	0,03	2,1	1,2	0,1	0,02	0,03	
Коксівність, % мас.	0,5	0,2	0,4	0,5	0,2	–	0,2	0,3	
Температура, $^{\circ}\text{C}$ спалаху застигання	224 мінус 3	316 мінус 18	318 мінус 12	320 мінус 16	296 мінус 27	257 мінус 16	203 мінус 15	270 мінус 18	
Колір, од. ASTM	4,0	1,5	1,0	2,0	1,5	2,0	3,0	7,0	

**Корозійна агресивність рослинних олій
у порівнянні з нафтовою оливою марки «И-40А»**

Олива	Корозія, г/м ²			
	міди М-1 (ГОСТ 495)	алюмінію (ГОСТ 21488)	свинцю С-1 (ГОСТ 3778)	сталі ШХ-15 (ГОСТ 801)
Бавовняна	0,66	0,25	9,3	0,61
Соняшникова	0,95	0,17	58,4	0,96
Ріпакова	0,38	0,17	3,1	0,70
Рицинова	0,09	0	2,40	–
Нафтова олива	0	0	4,1	0

Застосування жирів (в основному рослинних олій) в сучасній техніці набуло як спеціальних ММ – найперше як технологічні мастила й компоненти МОТЗ у процесах металообробки.

Практичне застосування сучасних матеріалів на основі рослинних і тваринних жирів обґрунтоване у сільському господарстві, лісовій, деревообробній, будівельній та харчовій галузях промисловості, у спортивному та медичному обладнанні, тобто у сферах, де забруднення довікля найбільш небажане.

Застосування рослинних і тваринних жирів через їх порівняно невисоку антиокиснювальну й гідролітичну стабільність обмежується областями короткотермінових (гоночні автомобілі) або незначних за величиною навантажень (гідралічні установки), а також процесами змащування, де необхідний певний ступінь розкладення ММ (емульсії для прокатних станів), у двигунах і механізмах без системи змащування, коли олива потрапляє у довікля безпосередньо після її використання. До таких двигунів і механізмів відносяться двотактні двигуни внутрішнього згорання, ланцюги та мотопили, трелювальні троси в лісовій промисловості, відкриті редуктори, пневматичні інструменти. При цьому найбільш очевидні переваги жирів. Також продукт потрапляє безпосередньо у довікля під час використання розділювальних засобів у процесах формування та засобів захисту від корозії.

Нафтові та синтетичні оливи з низки причин у системах змащування із довготерміновим використанням мають переваги через свою високу стабільність. З іншого боку композиції на основі рослинних олій мають перевагу через добрі ВТХ, що не погіршуються під час значних напруг зсуву (на відміну від нафтових олив з в'язкісними присадками). Ці продукти відповідають сучасним нормативним вимогам для моторних і гідравлічних олив за змащувальною здатністю, корозійним захистом сплавів заліза та кольорових металів, антипінними, деемульгуючими та деаераційними властивостями.

Рослинні олії сумісні з еластомерами й термопластичними матеріалами приблизно до 80 °С, це і найбільш прийнятна температурна межа використання жирів.

У разі заміни нафтових і синтетичних олив (зокрема, алкіл бензольних) необхідна обережність, оскільки вони можуть змішуватися в резервуарах. Попри їх необмежене змішування, присадки, маючи різну розчинність у базових оливах, можуть призвести до коагуляції, застигання та засмічення оливних фільтрів.

Ефективними антиокиснювачами в рослинних оліях є феноли типу 2-нафтол, гідрохінон, ароматичні аміни та сполуки з кількома бензольними циклами. Однак головним фактором, що визначає антиокиснювальну здатність, є будова та молекулярна маса сполук з гідро- і амінними групами та розташування цих груп у молекулі. У зв'язку з цим важливим і перспективним напрямом є синтез і підбір принципово нових антиокиснювачів.

За різноманітністю застосування, доступністю, вартістю та фізико-хімічними характеристиками для помірно кліматичного поясу найперспективнішим є ріпак, що у великих кількостях вирощується в Європі та Канаді.

На основі ріпакової олії в США компанією «Calgene Inc.» налагоджено випуск серії ММ зі спеціально підібраними пакетами присадок, що так само, як і базова олія біорозщеплюються та є нетоксичними.

У США і країнах Азії (найперше Китай) більш прийнятним варіантом може бути соєва олія, як найпоширеніша. Тільки у США обсяг ринку ММ на її основі оцінюється величиною від 3,5 до 10,6 млн м³/рік.

Для Індонезії й африканських країн найбільш прийнятною є пальмова, пальмоядрова та кокосова олії.

У Західній Європі та США розроблено та успішно використовується широкий асортимент «біопродуктів» – моторних, трансмісійних, гідравлічних олив, а також пластичних мастил різного призначення.

Важливим аспектом привабливості рослинних олій як компонентів ММ є високий вміст в них олеїнової кислоти. Оскільки найбільше уваги приділяється одержанню олій з пониженим вмістом лінолевої кислоти за одночасного збільшення вмісту олеїнової кислоти, що підвищує антиокиснювальну стабільність.

На сьогодні у США значно збільшується обсяг виробництва продуктів на основі рослинних олій – тракторні оливи, оливи для харчової промисловості, індустриальні гідравлічні оливи, оливи для ланцюгових пил, редукторні оливи, різні МОТЗ, гартувальні оливи, оливи для процесів формування металу, охолоджуючі оливи у трансформаторах, стапельні оливи, моторні оливи для двотактових двигунів, оливи для форм лиття.

В Україні жирова сировина й продукти її перероблення у виробництві ММ використовуються обмежено. Досить широко використовуються жирні кислоти. З рослинних олій застосовують рицинову, бавовняну, ріпакову та коріандрову як компоненти базових олив і дисперсних середовищ пластичних мастил.

Класифікація рослинних олій як ММ, попри їх застосування, поки що відсутня.

Питання для самостійної роботи:

1. Де використовують біооливи?
2. Який склад біоолив?
3. Охарактеризуйте загальну класифікацію жирів.
4. Які ви знаєте властивості біоолив?
5. Які способи одержання рослинних жирів ви знаєте?
6. Охарактеризуйте виробництво рослинних олій в світі.
7. Як поділяють оливи за ступенем очищення?
8. Які методи очищення жирів ви знаєте?
9. Які процеси необхідні для досягнення оптимальних експлуатаційних властивостей біоолив?
10. Охарактеризуйте основні сфери застосування рослинних і тваринних жирів.
11. Наведіть основні технічні вимоги до біоолив. Якими стандартами вони регламентуються?

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Інструкція з контролювання якості нафти і нафтопродуктів на підприємствах і організаціях України: №271/121:2007.* – Офіц. вид. – К.: М-во палива та енергетики України, 2007. 100 с.
2. *Інструкція про порядок приймання, транспортування, зберігання, відпуску та обліку нафти і нафтопродуктів на підприємствах і організаціях України: затверджена спільним наказом Мінпаливенерго України, Мінтрансзв'язку України, Мінекономіки України, Держспоживстандарту України від 20 травня 2008 р. № 281/171/578/155. Офіційний вісник України.* – 2008. – № 68. – Ст. 2294.
3. *Іщук Ю. Масильні матеріали: класифікація та термінологія / Ю. Іщук, М. Гінзбург, Є. Кобилянський, С. Коваленко, Б. Ярмолюк // Катализ та нефтехимія.* – 2005. – № 13. – С. 9–19.
4. *ДСТУ 3437-96. Нафтопродукти. Терміни та визначення.* – [Чинний від 01.08.1997]. – К.: Управління Держспоживстандарту України, 1997. – 100 с. – (Національний стандарт України)
5. *ДСТУ 3464-96. Авіаційні палива, масильні матеріали, технічні рідини. Терміни та визначення.* – [Чинний від 01.01.1998]. – К.: Управління Держспоживстандарту України, 1997. – 86 с. – (Національний стандарт України)
6. *ДСТУ 3021-95. Випробування і контроль якості продукції. Терміни та визначення.* – [Чинний від 01.01.1996]. – К.: Управління Держспоживстандарту, 1996. – 75 с. — (Національний стандарт України)
7. *ДСТУ 4488:2005. Нафта і нафтопродукти. Методи відбирання проб.* – [Чинний від 01.10.2006]. – К.: Управління Держспоживстандарту, 2006. – 34 с. – (Національний стандарт України)
8. *ДСТУ 4454:2005. Нафта і нафтопродукти. Маркування, пакування, транспортування та зберігання.* – [Чинний від 01.07.2006]. – К.: Управління Держспоживстандарту, 2005. – 36 с. – (Національний стандарт України)
9. *Масильні матеріали, індустриальні оливи та споріднені продукти (клас L). Класифікація : ДСТУ 4128:2002.* – [Чинний від 01.09.2004]. – К.: Управління Держспоживстандарту, 2002. – 8 с. – (Національний стандарт України)
10. *ДСТУ 4129:2002. Матеріали масильні. Оливи індустриальні та споріднені продукти (клас L). Позначення. Загальні вимоги.* – [Чинний від

01.01.2004]. – К.: Управління Держспоживстандарту, 2002. – 7 с. – (Національний стандарт України)

11. *ДСТУ 4226:2003*. Масильні матеріали, індустріальні оливи та споріднені продукти (клас L). Класифікація. Група X (мастила). – [Чинний від 01.10.2004]. – К.: Управління Держспоживстандарту, 2003. – 10 с.

12. *ДСТУ 4106:2002*. Оливи масильні. Номенклатура показників. – [Чинний від 01.01.2003]. – К.: Управління Держспоживстандарту, 2003. – 25 с. – (Національний стандарт України)

13. *ASTM D 5183-95 (Reapproved 1999)*. Standard test method for determination of the coefficient of friction of lubricants using the Four-Ball Wear test machine.

14. *ГОСТ 26191-84*. Масла, смазки и специальные жидкости. Ограничительный перечень и порядок назначения. – [Действующий от 1985-01-01]. – М.: Стандартиформ, 2011. – 31 с.

15. *Бойченко С. В.* Контроль якості паливно-масильних матеріалів: навч. посіб. / С. В. Бойченко, Л. М. Черняк, В. Ф. Новикова [та ін.]. – К.: НАУ, 2012. – 316 с.

16. *Boichenko S. V.* Aviation Fuels and Lubricants: Manual / S. V. Boichenko, M. M. Zakharchuk. – К.: НАУ, 2012. – 184 p.

17. *Бойченко С. В.* Авіаційні паливно-масильні матеріали: лабораторний практикум / уклад.: С. В. Бойченко, Л. М. Черняк. – К.: НАУ, 2013. – 40 с.

18. *Андріішин М. П.* Газ природний, палива та оливи: монографія / М. П. Андріішин, Я. С. Марчук, С. В. Бойченко. – Одеса: Астропринт, 2010. – 232 с.

19. *Бойченко С. В.* Топлива, смазочные материалы, технические жидкости / С. В. Бойченко. – К.: КМУГА, 1999. – 104 с.

20. *Бойченко С. В.* Моторные топлива и масла для современной техники: монография / С. В. Бойченко, С. В. Иванов, В. Г. Бурлака. – К.: НАУ, 2005. – 216 с.

21. *Баннов П. Г.* Основы анализа и стандартные методы контроля качества нефтепродуктов / П. Г. Баннов. – М.: КИНЕФ, 2005. – 792 с.

22. *Данилов А. М.* Введение в химмотологию / А. М. Данилов. – М.: Техника, 2003. – 464 с.

23. *Козаченко А. И.* Контроль качества горюче-смазочных материалов в гражданской авиации / А. И. Козаченко. – К.: НАУ, 1992. – 244 с.

24. *Бойченко С. В.* Газ і масильні матеріали: навч. посіб. / С. В. Бойченко, В. Г. Моца, О. С. Тітова. – К.: НАУ, 2002. – 188 с.

25. *Бойченко С. В.* Газ і паливно-масильні матеріали: навч.-метод. посібн. / С. В. Бойченко, Л. М. Черняк, Н. М. Кучма, О. С. Тітова. – К.: НАУ,

2006. – 109 с.

26. *Бойченко С. В.* Хіммотологія: навч.-метод. посібн. / С. В. Бойченко Л. М. Черняк, Н. М. Кучма, В. В. Єфименко. – К.: НАУ, 2006. – 157 с.

27. *Акмалдінова О. М.* Тематичний словник авіаційної термінології (англійська, українська, російська мови) / О. М. Акмалдінова, С. В. Бойченко [та інші]; за ред. О. М. Акмалдінової,. – К.: НАУ, 2013. – 692 с.

28. *Новікова В. Ф.* Паливно-мастильні матеріали: лабораторний практикум / В. Ф. Новікова, О. В. Полякова, С. В. Бойченко. – К.: НАУ, 2002. – 44 с.

29. *Яновский Л. С.* Инженерные основы авиационной химмотологии / Л. С. Яновский, Н. Ф. Дубовкин, Ф. М. Галимов и др. – Казань: Изд. Казанского университета, 2005. – 714 с.

30. *Фукс И. Г.* Основы химмотологии. Химмотология в нефтегазовом деле / И. Г. Фукс, В. Г. Спиркин, Т. Н. Шакалина. – М.: ФГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2004. – 280 с.

31. *Евдокимов А. Ю.* Смазочные материалы в техносфере и биосфере: экологический аспект / А. Ю. Евдокимов, И. Г. Фукс, И. А. Любинин. – К.: Атика-Н, 2012. – 292 с.

32. *Бойченко С. В.* Авиационная химмотология: топлива для авиационных двигателей. Теоретические и инженерные основы применения: підручник / С. В. Бойченко [та інші]. – К.: НАУ, 2015. – 560 с.

33. *Бойченко С. В.* Химмотология: учебное пособие / С.В. Бойченко [и др.]. – М.: 2015. – 250 с.

34. *Бойченко С. В.* Транспортна екологія. Навчальний посібник / О. І. Запорожесь, С. В. Бойченко, О. [та інші]; за заг. редакцією С. В. Бойченка. – К.: «Центр учбової літератури», 2017. – 508 с.

35. *Давлетьяров Ф. А.* Нефтепродуктообеспечение / Ф. А. Давлетьяров, Е.И. Зоря, Д.В. Цагарели под ред. д.т.н., проф. Д. В. Цагарели. – М.: Математика, 1998. – 662 с.

36. *Литвинов А. А.* Основы применения ГСМ в ГА / А. А. Литвинов. – М.: Транспорт, 1987. – 311 с.

37. *Бойченко С. В.* Хіммотологія та інженерне забезпечення використання газу та паливно-мастильних матеріалів: навч. посіб. / С. В. Бойченко [та інші]. – К.: НАУ, 2014. – 298 с.

38. *Трянов А. Е.* Особенности конструкции узлов и систем авиационных двигателей и энергетических установок: учеб. пособие / А. Е. Трянов. – Самара: Изд-во Самар.Гос.Аэрокосм. Ун-та, 2011. – 202 с.

39. *Большаков Г. Ф.* Физико-химические основы применения топлив и масел. Теоретические аспекты химмотологии. / Г. Ф. Большаков. – Новосибирск: Наука. 1987, 211 с.

40. Степанов А. В. Ресурсосберегающая технология переработки нефти / А.В. Степанов, В.С. Горюнов. – Киев: Наукова думка, 1993. – 270 с.
41. Боуден Ф. П. Трение и смазка твердых тел / Ф. П. Боуден, Д. Тейбор. – Москва : Машиностроение, 1968. – 544 с.
42. Костецкий Б. И. Трение, смазка и износ в машинах / Б. И. Костецкий. – К.: Техніка, 1970. – 396 с.
43. Райко М. В. Смазка зубчатых передач / М. В. Райко. – К.: Техніка, 1970. – 196 с.
44. Аксенов А. Ф. Трение и изнашивание металла в углеводородных жидкостях / А. Ф. Аксенов. – М.: Машиностроение, 1977. – 152 с.
45. Фукс Г. И. Адсорбция и смазочная способность масел // Трение и износ / Г. И. Фукс. – 1983. – Т. 4. – № 3. – С. 398–414.
46. Каминский Э. Ф. Глубокая переработка нефти: технологический и экологический аспекты / Э. Ф. Каминский, В. А. Хавкин. – М.: Техника, 2001. – 384 с.
47. Ішук Ю. Л. Змашувальна дія мастил з погляду на структуру поверхневих шарів металу / Ю. Л. Ішук [та інші]. // Проблеми тертя та зношування. – 2010. – Вип. 53. – С. 251–268.
48. Кобилянський Є. В. Основи нанотехнологій мастильних матеріалів / Є. В. Кобилянський, Ю. Л. Ішук, М. А. Альтшулер. // Катализ и нефтехимия. – 2005. – № 13. – С. 1–8.
49. Берг Г. А. Каталитическое гидрооблагораживание нефтяных остатков / Г. А. Берг, С. Г. Хабибуллин. – Л.: Химия, 1986. – 187 с.
50. Сочевко Т. И. Увеличение отбора масла за счет изменения фракционного состава дистиллятов / Т. И. Сочевко [и др.]. // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2000. – № 7. – С. 33–37.
51. Казакова Л. П. Физико-химические основы производства нефтяных масел. / Л. П. Казакова, С. Э. Крейн. М.: Химия, 1978. – 320 с.
52. Гиматдинов Р. Р. Состояние производства базовых масел в России / Р. Р. Гиматдинов, Р. З. Фахрутдинов. // Вестник Казанского технологического университета. – 2016. – Т.19. – №11. – С. 58–63.
53. Школьников В. М. Совершенствование процессов селективной очистки и деасфальтизации масляного сырья на основе применения новых растворителей / В. М. Школьников, И. О. Колесник. М.: ЦНИИТЭ-нефтехим, 1986. – 48 с.
54. Хассан Аль-Резк С. Д. Сравнительный анализ процессов селективной очистки фурфуролом и N-метилпирролидиномо дистиллятных масляных фракций из мазута Иракской нефти / С. Д. Хассан Аль-Резк [и др.] // Башкирский химический журнал. – 2008. – Том.15. – № 4. – С. 119–124.
55. Цветков О. Н. Современное состояние и перспективы развития каталитических процессов получения базовых масел. / О. Н. Цветков,

В. М. Школьников. // Катализ в промышленности. – М.: Изд-во «Калвис», 2008. – № 3. – С. 12–16.

56. Ранд С. Дж. Анализ нефтепродуктов. Методы, их назначение и применение: пер.с англ./С.Дж.Ранд [и др.]; под. ред Л. Г. Новикова. – Нехамкиной. – СПб.: ЦОП «Профессия», 2014. – 664 с.

57. Капустин В. М. Технология переработки нефти / В. М. Капустин, Б. П. Тонконогов, И. Г. Фукс. – М.: Химия, 2014. – 328 с.

58. Ахметов С. А. Технология глубокой переработки нефти и газа. / С. А. Ахметов. – Уфа: Гилем, 2002. – 672 с.

59. Туманян Б. П. Об оценке эффективности функционирования нефтеперерабатывающих предприятий / Б. П. Туманян. // Химия и технология топлив и масел. – 2009. – № 3. – С. 4–6.

60. Колесников И. М. К вопросу определения эффективности переработки нефти / И. М. Колесников. // Промышленный сервис. – 2011. – № 3. – С. 38–40.

61. Каминский Э. Ф. Глубокая переработка нефти: технологический и экологический аспекты. / Э. Ф. Каминский, В. А. Хавкин. – М.: Техника, 2001. – 384 с.

62. Стратегические приоритеты российских нефтеперерабатывающих предприятий / В. Е. Сомов, И. А. Садчиков, В. Г. Шершун и др. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 2002. – 292 с.

63. Туманян Б. П. К вопросу о классификации нефтеперерабатывающих предприятий / Б. П. Туманян. // Теоретические и прикладные проблемы сервиса. – 2011. – № 2. – С. 4–8.

64. Баннов П. Г. Процессы переработки нефти. Ч.2 / П. Г. Баннов. – М.: Химия, 2001. – 412 с.

65. Мановян А. К. Технология первичной переработки нефти и природного газа / А. К. Мановян. – М.: Химия, 2001. – 568 с.

66. Александров И. А. Перегонка и ректификация в нефтепереработке / И. А. Александров. – М.: Химия, 1981. – 352 с.

67. Багиров Т. И. Современные установки первичной переработки нефти / Т. И. Багиров. – М.: Химия, 1974. – 240 с.

68. Мановян А. К. Технология переработки природных энергоносителей / А. К. Мановян – М.: Химия, 2004. – 453 с.

69. Маслянский Г. Н. Каталитический риформинг бензинов / Г. Е. Маслянский, Р. Н. Шапиро. – Л.: Химия, 1985. – 224 с.

70. Степанов А. В. Ресурсосберегающая технология переработки нефти / А. В. Степанов, В. С. Горюнов.– Киев: Наукова думка, 1993. – 270 с.

71. Каминский Э. Ф. Глубокая переработка нефти: технологический и экологический аспекты. / Э. Ф. Каминский, В. А. Хавкин. – М.: Техника, 2001. – 384 с.

72. Коган Ю. С. Переработка остаточного сырья на установках каталитического крекинга за рубежом / Ю. С. Коган, М. Я. Конь. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1988. – 78 с.

73. Ашитко С. Г. Экономическая эффективность термических процессов в схемах глубокой переработки нефти / С. Г. Ашитко, Л. Г. Злотникова, Г. А. Терентьев [и др.]. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1990. – 88 с.

74. Берг Г. А. Каталитическое гидрооблагораживание нефтяных остатков / Г. А. Берг, С. Г. Хабибуллин. – Л.: Химия, 1986. – 187 с.

75. Самедова Ф. И. Високоиндексные базовое масло из нефти месторождения Чираг / Ф. И. Самедова, Р. З. Гасанова, Н. З. Кадималиева. // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2000. – № 10. – С. 44–46.

76. Сочевко Т. И. Базовые и товарные масла / Т. И. Сочевко, М. Д. Пахомов, М. И. Фалькович, В. М. Евтушенко. // Химическая технология топлив и масел. – 2000. – № 2. – С. 37–39.

77. Казакова Л. П. Физико-химические основы производства нефтяных масел / Л. П. Казакова, С. Э. Крейн. – М.: Химия, 1978. – 320 с.

78. Школьников В. М. Совершенствование процессов селективной очистки и деасфальтизации масляного сырья на основе применения новых растворителей / В. М. Школьников, И. О. Колесник. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1986. – 48 с.

79. Горючие, смазочные материалы: Энциклопедический толковый словарь-справочник / под ред. В. М. Школьниковой. – М.: ООО «Издательский центр «Техинформ» Международной академии Информатизации, 2007. – 736 с.

80. *Boichenko Sergii. Problems of chemmotology. Theory and practice of rational use of traditional and alternative fuels & lubricants: Monograph / Sergii Boichenko, Kazimirz Lejda, Vasył Mateichyk, Petro Topilnytskyi / under the general editorship of prof. Sergii Boichenko. – K.: Center of educational literature, 2017. – 452 p.*

81. *Boichenko Sergii. Motor fuels: properties and quality: textbook / Sergii Boichenko, Andrii Pushak, Petro Topilnitsky, Kazimir Leida; Edited by Prof. S. Boichenko. – K.: «Center for Educational Literature», 2017. – 324 p.*

82. *Топільницький П. Технологія первинної переробки нафти і газу: підручник / П. Топільницький, О. Гринишин, О. Мачинський. // Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2014. – 468 с.*

83. *Бойченко С. В. Контроль якості паливно-мастильних матеріалів: навч. посіб. / С. В. Бойченко, Л. М. Черняк, В. Ф. Новикова [та ін.]. – К.: НАУ, 2012. – 308 с.*

84. *Бойченко С. В.* Вступ до хімотології палив та олів: Навчальний посібник у двох частинах / С. В. Бойченко, Й. А. Любінін. – Одеса: «Астропринт», 2010. – Ч. 2. – 276 с.

85. *Бондарь В. А.* Операции с нефтепродуктами. Автозаправочные станции / В. А. Бондарь, Е. И. Зоря, Д. В. Цагерели. М.: ПАРИТЕТ, 1999. – 338 с.

86. *Большаков Г. Ф.* Восстановление и контроль качества нефтепродуктов / Г. Ф. Большаков. – Л.: Недра, 1982. – 350 с.

87. *Радченко Е. Д.* Роль химмотологии и триботехники в создании современных смазочных материалов и износа металлоизделий / Е. Д. Радченко, Ю. Н. Шехтер // Химия и технология топлив и масел. – 1987. – № 4. – С. 2–5.

88. *Краткий англо-русский словарь химмотологических терминов и определений* / А. Г. Ширишов, А. В. Исаев, С. В. Дунаев [и др.]; Науч.-исслед. ин-т стандартизации и унификации. – М.: НИИСУ, 2016. – 306 с.

89. *Чудиновских А. Л.* Моторное масло как важный объект химмотологии. / А. Л. Чудиновских, Б. П. Тонконогов, В. Л. Лашхи. – М.: «Издательский дом Недра», 2014. – 223 с.

90. *Ахметов С. А.* Лекции по технологии глубокой переработки нефти в моторные топлива: учебное пособие для вузов / С. А. Ахметов. – СПб.: Недра, 2007. – 312 с.

91. *Евдокимов А. Ю.* Смазочные материалы и проблемы химмотологии. / А. Ю. Евдокимов, И. Г. Фукс и др. – М.: Нефть и газ, 2000. – 424 с.

92. *Adnani A. S., Hashemi S. J., Shoostari A., Attar M. M.* // Tribology in Industry. – 2013. – Vol. 35. – № 1. – P. 6168.

93. *Кулиев А. М.* Химия и технология присадок к маслам и топливам. / А. М. Кулиев – Л.: Химия, 1985. – 312 с.

94. *Леванов И. Г.* Обзор реологических моделей моторных масел, используемых при расчётах динамики подшипников скольжения коленчатого вала / И. Г. Леванов // Вестник ЮУрГУ. – 2010 (10). – С. 54–62.

95. *Маркова Л. В.* Оперативный контроль вязкости смазочных масел. / Л. В. Маркова, В. М. Макаренко, М. С. Семенюк, А. П. Зозуля // Трение и износ. – 2010 (31). – № 6. – С. 569–581.

96. *Маркова Л. В.* Магнитоупругий вискозиметр для оперативного контроля вязкости смазочных масел / Л. В. Маркова, В. М. Макаренко, М. С. Семенюк, А. П. Зозуля, Х. Конг, Х.-Г. Хан. // Трение и износ. – 2011 (32). – № 1. – С. 54–63.

97. *Балтенас Р.* Научно-техническое издание./ Р. Балтенас, А. С. Сафонов, А. И. Ушаков, В. Шергалис. – М.: Альфа-Лаб, 2000. – 272 с.

98. *Резников В. Д.* Зарубежные масла, смазки, присадки, технические жидкости: Международный каталог. Ассортимент. Свойства. Применение. / В. Д. Резников, Т. В. Шестаковская [и др.]. – М.: ООО Издательский центр: Техинформ МАИ, 2005. – 384 с.

99. *Джерихов В. Б.* Автомобильные эксплуатационные материалы. Часть II. Масла и смазки. Учебное пособие. / В. Б. Джерихов. – СПб.: СПБГАСУ, 2009. – 256 с.

100. *Виппер А. Б.* Зарубежные масла и присадки. / А. Б. Виппер, А. В. Виленкин, Д. А. Гайснер. – М.: Химия, 1981. – 192 с.

101. *Кулиев Р. Ш.* Физико-химические свойства некоторых растительных масел / Р. Ш. Кулиев, Ф. Р. Ширинов, Ф. А. Кулиев // Химия и технология топлив и масел. – 1999. – № 4. – С. 36–37.

102. *Долгова Л. А.* Обеспечение рационального ресурса моторного масла в двигателях / Л. А. Долгова, В. В. Салмин // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И. Я. Яковлева. – 2012. – № 2–1. – С. 46–56.

103. *Венцель С. В.* Применение смазочных масел в двигателях внутреннего сгорания. / С. В. Венцель. – Москва: Химия, 1979. – 240 с.

104. *Григорьев М. А.* Очистка масла в двигателях внутреннего сгорания. / М. А. Григорьев. – Москва: Машиностроение, 1983. – 148 с.

105. *Итинская Н. И.* Топливо, масла и технические жидкости / Н. И. Итинская, Н. А. Кузнецов. – Москва: ВО «Агропромиздат», 1989. – 304 с.

106. *Качество моторного масла и надежность двигателей* / М. А. Григорьев [и др.] – Москва :Изд-во стандартов, 1981. – 232 с.

107. *Техника* и технологии производства и переработки растительных масел: учебное пособие / С. А. Нагорнов, Д. С. Дворецкий, С. В. Романцова, В. П. Таров. – Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. – 96 с.

108. *Акаева Т. К.* Основы химии и технологии получения и переработки жиров. Ч. 1: Технология получения растительных масел: учеб. пособие / Т.К. Акаева, С.Н. Петрова. – Иваново : ГОУ ВПО Иван. гос. хим.-технол. ун-т, 2007. – 124 с.

109. *Engine Oil Guide*: Website: http://www.apicj-4.org/2009_engine_oil_guide.pdf.

110. *Vasilyeva L. S.* Automotive operational materials. / L. S. Vasilyeva. – М.: Science Press, 2003. – 421 p.

111. *Makushev Y. A.* Automotive operational materials. / Y. A. Makushev. – Tomsk: SibADI, 2006. – 58 p.

112. *Фукс И. Г.* Экологические проблемы рационального использования смазочных материалов. / И. Г. Фукс, А. Ю. Евдокимов, В. Л. Лашхи и др. – М.: Нефть и газ, 1993. – 352 с.

113. *Евдокимов А. Ю.* Отработанные смазочные материалы и вопросы экологии / А. Ю. Евдокимов, В. Л. Лашхи, А. А. Джамалов // Химия и технология топлив и масел. – 1992. – № 11. – С. 26–30.

114. *Шашкин П. И.* Регенерация отработанных нефтяных масел. / П. И. Шашкин, И. В. Брай. – М.: Химия, 1970. – 303 с.

115. *Башта Т. М.* Машиностроительная гидравлика. / Т. М. Башта. – М.: Машиностроение, 1971. – 672 с.

116. *Гусев О. Н.* Современные методы переработки и рационального использования отработанных масел. – М.: 1987. – 56 с.

117. *Пиковская Е. В.* Регенерация отработанных масел в США / Е. В. Пиковская, С. А. Сурин // Мир нефтепродуктов. – 2000. – № 4. – С. 23–25.

118. *Рыбаков К. В.* Повышение чистоты нефтепродуктов / К. В. Рыбаков, Т. П. Карпекина. – М.: Агропромиздат, 1986. – 111 с.

119. *Бенуа Г. Ф.* Использование отработанных масел за рубежом / Г. Ф. Бенуа, В. А. Сомов // Двигателестроение. – 1980. – № 5. – С. 51–53.

120. *Данилова Е. В.* Комплекс методов для исследования процесса старения масла в дизелях / Е. В. Данилова, О. А. Никифоров, А. И. Турбина, В. А. Сомов // Химия и технология топлив и масел. – 1976. – № 5. – С. 42–44.

121. *Каменчук Я. А.* Влияние температуры и растворителя на процесс осадкообразования в отработанном индустриальном масле / Я. А. Каменчук, С. И. Писарева, Л. Н. Андреева, Ф. Г. Унгер // Химия и технология топлив и масел. – 2006. – № 1. – С. 29–31.

122. *Утилизация отработанных масел / А. Р. Хафизов, Н. Р. Сайфуллин, Р. М. Ишмаков, А. Ю. Абызгильдин.* – Уфа: Государственное издательство научно-технической литературы «Реактив», 1996. – 260 с.

123. *Курмаев Р. Н.* Выбор и обоснование метода утилизации отработанных масел на крупных промышленных предприятиях / Р. Н. Курмаев, И. С. Глушанкова, Я. И. Вайсман // Transport. Transport facilities. Ecology. – 2016. – № 1. – С. 38–50.

124. *Смазочные материалы и проблемы экологии / А. Ю. Евдокимов, И. Г. Фукс [и др.].* – М.: Нефть и газ, 2000. – 423 с.

125. *Лісафін В. П.* Типові розрахунки процесів приймання, зберігання та розподілу нафти і нафтопродуктів / В. П. Лісафін, Н. В. Люта. – Івано-Франківськ: Факел, 2003. – 248 с.

126. *Іщук Ю. Л.* Біорозщеплюваність нафтопродуктів і проблеми біосфери / Ю. Л. Іщук, С. В. Кобилянський, Б. Ф. Кочірко // Нафтова і газова промисловість. – 2004. – №1. – С. 57–60.

127. *Евдокимов А. Ю.* Топлива и смазочные материалы на основе растительных и животных жиров. / А. Ю. Евдокимов. – М.: ЦТНИИТЭ-нефтехим, 1992. – 120 с.

128. Будник А. Ф. Фізика та механіка трибодизайну матеріалів: Навчальний посібник / А. Ф Будник., В. Б. Юскаєв – Суми: Вид-во СумДУ, 2008. – 203 с.

ДОДАТКИ

Додаток 1

ОСНОВНІ ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ

Абсорбція – процес поглинання рідиною (абсорбентом) газу або пари. Абсорбенти різної природи (вода, спирти, вуглеводні, луги, кислоти і ін.) характеризуються по відношенню до різних газів, що поглинаються, селективним характером дії та різною абсорбційною ємкістю. На цьому засновані промислові процеси розділення газових сумішей та очищення природного, нафтового газів і т. ін. Розрізняють фізичну абсорбцію, коли абсорбент хімічно інертний по відношенню до газу, що поглинається, і хімічну абсорбцію (хемосорбцію), за якої абсорбент і газ вступають у хімічну взаємодію.

Адсорбція – процес концентрування речовини на поверхні поділу фаз («тверда–рідка», «рідка–газоподібна», «рідка–рідка»). Речовина, на поверхні якої перебігає процес, називається адсорбентом, адсорбуюча речовина – адсорбатом. Ефективність процесу оцінюють по відношенню кількості поглиненої речовини, віднесеної до одиниці площі поверхні або маси адсорбенту (ммоль/м³ або ммоль/г). Адсорбція, зумовлена силами міжмолекулярної взаємодії, називається фізичною адсорбцією; цей процес, як правило, зворотній. Поглинання газів, пари або розчинених речовин твердими або рідкими поглиначами, що супроводжується утворенням у системі «адсорбат–адсорбент» хімічних сполук, називається хемосорбцією. На відміну від фізичної адсорбції цей процес незворотній; значення теплоти хемосорбції близькі до значення теплоти хімічної реакції й складають 40–400 кДж/моль.

На явищі адсорбції засновані багаточисельні способи очищення рідин і газів, повітря від різноманітних технічних домішок, тонке розділення сумішей речовин і виділення з них компонентів. Для забезпечення заданого хімічного складу, покращення фізико-хімічних і експлуатаційних властивостей виконують адсорбційне очищення олів. При цьому видаляють ненасичені та ароматичні вуглеводні, смолисто-асфальтенові речовини, гетероорганічні сполуки. Як адсорбенти

використовують відбілюючі глини, боксити, опоки, бентоніти, активовані глини та вугілля, цеоліти, силікагелі, алюмосилікагелі.

Адсорбцію газів проводять у спеціальних масообмінних апаратах (абсорберах) тарільчастого, насадочного, плівкового і розпилювального типів. Процес зворотній адсорбції (десорбція) лежить в основі виділення з абсорбенту поглиненого ним газу. Таким чином здійснюють регенерацію абсорбенту.

Адгезія (прилипання) – явище виникнення міжмолекулярних зв'язків між прилеглими поверхневими шарами різнорідних твердих тіл. Частковим випадком є когезія, коли прилеглі тіла однорідні. При статичному контакті двох твердих тіл адгезія звичайно невелика, так як фактична площа контакту складає дуже малу частину прилеглих поверхонь у зв'язку з тим, що на них практично завжди є адсорбовані плівки, що зменшують адгезію. Однак при відносному переміщені тіл (терті), що викликає появу ділянок ювенільних поверхонь, сили адгезії можуть різко зрости, що призводить до появи заїдання та схоплення поверхонь прилеглих тіл. Адгезія вимірюється енергією відриву, віднесеної до одиниці площі поверхні.

Аналіз якості – процес, у результаті якого встановлюються якісний і кількісний склад оливи (або палива).

Безвідмовність – властивість безупинно зберігати працездатність протягом деякого часу або деякого наробітку, що виражається у ймовірності безвідмовної роботи, середньому наробітку до відмовлення, інтенсивності відмовлень.

Взаємозамінність оливи – характеристика, що показує можливість заміни однієї марки оливи на іншу марку без погіршення техніко-економічних показників роботи й надійності експлуатації техніки, з можливими окремими обмеженнями за призначенням (основна і дублююча марки), або з погіршенням техніко-економічних показників роботи, надійності експлуатації техніки і з відповідними обмеженнями за призначенням (основна і резервна марки). Визначається сукупністю експлуатаційних властивостей і показників якості певних марок оливи.

Використання оливи – трудова професійна діяльність спеціалістів, що спрямована на перероблення нафти або іншої сировини, організацію зберігання, транспортування та розподілу товарних оливи, забезпечення відповідності їх властивостей умовам роботи техніки і двигунів з метою отримання максимального технічного, економічного, екологічного та соціального ефекту.

Випробування оливи – експериментальна оцінка фізико-хімічних показників якості й експлуатаційних властивостей оливи з метою визначення їх відповідності вимогам НД, нормам комплексів методів

кваліфікаційної оцінки, а також вимогам, що висуваються двигунами та технікою під час проведення різних досліджень (експериментальне визначення кількісних і (або) якісних характеристик властивостей об'єкта випробування як результат впливу на нього під час його функціонування, під час моделювання об'єкта та впливу на нього).

Відпрацьований нафтопродукт – продукт перероблення нафти, під час використання якого відбулися зміни деяких властивостей, регламентованих нормативною документацією.

Гідрофільність – властивість поверхні речовин змочуватися водою.

Гідрофобність – властивість поверхні речовин не змочуватися водою.

Двигун – машина, призначена для перетворення якого-небудь виду енергії у механічну роботу. У залежності від виду енергії, що перетворюється розділяють на теплові, електричні, вітрові, водні, сонячні, ядерні та ін.

Динамічна в'язкість – відношення напруження зсуву до градієнта швидкості зсуву. Напруження зсуву – це відношення діючої сили до площини твердих тіл, розділених шаром рідини. Градієнт швидкості зсуву – відношення швидкості переміщення рухливого твердого тіла до товщини шару рідини між рухомим і нерухомим тілом.

Довговічність – властивість зберігати працездатність до настання граничного стану при встановленій системі технічного обслуговування та ремонтів.

Додаток – речовина або комплекс речовин, що додаються до складу нафтопродукту у кількості понад 0,5 % для покращення експлуатаційних властивостей.

Задир – процес виникнення місцевих металевих зв'язків між тертьовими поверхнями та їх наступним руйнуванням.

Зайдання – результат задира та схоплювання, викликане макрозмінами поверхонь тертя.

Збереженість – властивість продукції зберігати працездатний, придатний до експлуатації (використання) стан протягом і після зберігання та транспортування.

Зовнішнє тертя – явище опору відносному переміщенню, що виникає між двома тілами в зонах зіткнення поверхонь по дотичних до них, супроводжуване дисипацією енергії.

Змащування – вплив мастильного матеріалу на поверхню тертя, в результаті чого зменшується сила тертя і швидкість зношування. У технічній літературі термін часто використовується синонімічно з терміном «мастильний матеріал» і «змащування».

Змащувальні властивості – комплекс фізико-хімічних властивостей оливи (в'язкісні, протизношувальні, антифрикційні, протизадирні), що обумовлюють ефективність роботи системи тертя (трибосистеми).

Зносостійкість – властивість матеріалу здійснювати опір зношуванню у певних умовах тертя, що оцінюється величиною, зворотною зношуванню або інтенсивності зношування. Зношування матеріалу визначають під час його дослідження на тертя та зношування в лабораторних, стендових, або натурних умовах.

Зразок – об'єкт випробувань або хімотологічних досліджень, що проводяться для встановлення або підтвердження чисельних значень його фізико-хімічних показників або експлуатаційних властивостей у відповідності з вимогами НД. Розрізняють дослідні зразки ПММ (лабораторні або промислові) і товарні.

Ефективність – характеристика будь-якої системи з точки зору співставлення витрат і результатів її функціонування.

Експлуатаційні властивості – об'єктивні особливості ММ, що виявляються у процесі використання їх у техніці.

Екологічні властивості – сукупність властивостей ММ, що під час експлуатації негативно впливають на здоров'я людини та навколишнє середовище.

Енергоощадність – діяльність (організаційна, наукова, практична інформаційна), що спрямована на раціональне використання та економічне витрачання первинної та перетвореної енергії й природних енергетичних ресурсів у національному господарстві та яка реалізується з використанням технічних, економічних і правових методів.

Термін «**Експлуатація**» застосовується до такої продукції, що у процесі використання витрачає свій ресурс, а термін «**Споживання**» – що під час використання витрачається сама.

Компонування – процес змішування декількох компонентів оливи у певному співвідношенні для отримання товарного продукту заданої якості.

Контроль – перевірка відповідності об'єкта встановленим технічним вимогам.

Контроль якості – контроль кількісних і (або) якісних характеристик (параметрів) ПММ.

Кінематична в'язкість – характеризує текучість масла під дією власної сили тяжіння та являє собою відношення динамічної в'язкості до густини палива або оливи.

Коефіцієнт тертя – відношення сили тертя двох тіл до нормальної сили, що притискає ці тіла одне до одного.

Коефіцієнт зчеплення – відношення найбільшої сили тертя спокою двох тіл до нормальної щодо поверхонь тертя сили, що притискає тіла одне до одного.

Марка нафтопродукту – назва, умовне позначення, склад і властивості продукту перероблення нафти, що регламентовані стандартами й технічними умовами.

Машина (від франц. machine) – пристрій, що виконує механічні рухи з метою перетворення енергії, матеріалів або інформації.

Мастильні матеріали – речовини, що мають мастильні властивості й додаються на поверхні тертя для зменшення сили тертя й (або) інтенсивності зношування.

Надійність – властивість виробу (двигуна, автомобілю, літака і т. д.) виконувати завдані функції, зберігаючи свої експлуатаційні показники в завданих межах на протязі необхідного проміжку часу або необхідної наробки. Визначається безвідказністю, ремонтпригодністю, виробу і довговічністю його складових частин.

Найбільша сила тертя спокою – сила тертя спокою, будь-яке перевищення якої веде до виникнення руху. Попередній зсув – відносне мікропереміщення двох твердих тіл під час тертя в межах переходу від стану спокою до відносного руху. Швидкість ковзання – різниця швидкостей тіл у точках торкання під час ковзання.

Облік нафти і нафтопродуктів – операція, що виконується на підприємстві нафтопродуктозабезпечення під час технологічного процесу та яка полягає у визначенні об'єму й маси нафти або нафтопродуктів для подальших облікових операцій.

Оптимізація – процес доведення будь-якої системи до найкращого стану.

Оцінювання відповідності – процес, що демонструє відповідність продукту або послуги заданим вимогам, інакше кажучи, це комплекс процедур, що демонструють відповідність продукту умовам відповідного технічного регламенту.

Оцінювання якості продукції – це визначення значень характеристик (параметрів) продукції із зазначенням точності та (або) достовірності.

Оцінювання рівня якості продукції – це сукупність операцій, що включає вибір номенклатури показників якості оцінюваної продукції, визначення значень цих показників і зіставлення їх з базовими

Пара тертя – система з двох елементів, прилеглих поверхні яких у процесі роботи переміщуються (ковзають) відносно одна одної. Один елемент системи називають матеріалом тертя (зазвичай метал, сплав, неметалічна композиція і ін.), а ін. – контртілом (частіше за усе чавун або

сталь). Прикладами П. т. можуть бути підшипникові, гальмівні, придаточні вузли. Основні показники, що характеризують роботу П. т.: зносостійкість, коефіцієнт тертя, несуча здатність.

Поверхня тертя – поверхня тіл, що беруть участь у терті.

Показник якості ПММ – величина, що характеризує якість того чи паливно-мастильного матеріалу за одним або кількома його параметрами.

Присадка – речовина або комплекс речовин, що додають до нафтопродукту у незначних кількостях (до 0,5%) для покращення експлуатаційних властивостей.

Проба – це певна кількість не штучної продукції, відібрана для випробування (контролю).

Продукція – результат діяльності або процесу.

Продукти зношування – частинки матеріалу, що відділяються в процесі його зношування.

Протизношувальні властивості – експлуатаційна властивість ММ, що характеризує здатність ММ перешкоджати зношуванню поверхонь, що труться. Визначається таким показником, як в'язкість, змащувальна здатність, діаметр плями зносу і ін. П. в. палива мають важливе значення для дизельних двигунів, у яких паливні насоси високого тиску і паливо-регулююча апаратура змащується тільки паливом без подачі оливи.

Раціональність (від лат. *rationalis* – розумний та *ratio* – розум) – сутність раціонального використання палива полягає у максимальному доцільному, організованому їх використанні, ґрунтованому на сучасних досягненнях науки та техніки, та відповідності рівню сучасних соціальних потреб.

Ремонтпридатність – це властивість виробу, що полягає у пристосованості його до попередження і виявлення причин виникнення відмовлень, uszkodженні й усуненню їх наслідків через проведення ремонтів і технічного обслуговування.

Рентабельність (від нім. *rentabel* – доходний, прибутковий) – показник економічної ефективності виробництва. Розраховується як відношення прибутку до затрат або собівартості продукції. Комплексно відображає використання матеріальних, трудових та фінансових ресурсів і природних багатств.

Ресурс – напрацювання виробу (двигуна, автомобілю, літака і т. п.) до настання граничного значення техніко-економічних показників його експлуатації, визначених у НД. Розрізняють ресурс до першого ремонту, міжремонтний, призначений, середній, гарантійний, загальний.

Стандарт – документ, в якому з метою добровільного багаторазового використання встановлюються характеристики продукції, правила

здійснення та характеристики процесів виробництва, експлуатації, зберігання, перевезення, реалізації й утилізації, виконання робіт або надання послуг.

Стандартизація – діяльність щод встановлення правил і характеристик з метою їх добровільного багаторазового використання, спрямована на досягнення впорядкованості в сферах виробництва та обігу продукції, а також підвищення конкурентноздатності продукції, робіт або послуг.

Собівартість продукції – економічний показник, що включає витрати на спожиті засоби виробництва та на оплату праці. Повна собівартість включає поточні витрати не тільки на виробництво, але й на реалізацію продукції. Економічний аналог собівартості продукції – витрати виробництва.

Схоплювання – явище задира, що супроводжується утворенням міцних з'єднань (містків) між тертьовими поверхнями, наслідком чого може бути виривання об'ємів металу в місцях схоплювання.

Сила тертя – сила опору за відносного переміщення одного тіла по поверхні іншого під дією зовнішньої сили, спрямованої по дотичній до загальної межі між цими тілами.

Синерезис – відділення рідкої фази від колоїдної системи оливи.

Техніка (від грецької *techné* – мистецтво, ремесло, майстерність), сукупність засобів антропогенної діяльності, що створюються для здійснення процесів виробництва та обслуговування невиробничих потреб суспільства.

Технічні умови – технічний документ, що розробляється за рішенням розробника (виробника) або за вимогою замовника (споживача) продукції, що вміщує повний комплекс вимог до продукції, її виготовлення, контролю та прийманню. Технічні умови, на які здійснюються посилання в договорах (контрактах) на постачальну продукцію (надані послуги), використовуються як нормативні документи.

Технічний контроль – перевірка відповідності об'єкта встановленим технічним вимогам.

Технічне регулювання – правове регулювання відносин у сфері встановлення, застосування та виконання обов'язкових вимог до продукції або пов'язаних з нею процесів, систем і послуг, персоналу та органів, а також перевірка їх дотримання оцінкою відповідності та (або) ринкового нагляду.

Технічний регламент – законодавчий акт, прийнятий органом влади, що містить обов'язкові технічні вимоги або безпосередньо, або посиланням на стандарт(и), або застосуванням взаємопов'язаних стандартів.

Технологічний регламент – основний технічний документ, що визначає технологію, режим, порядок проведення операцій технологічного процесу, показники якості продукції та безпечні умови роботи. Крім того, технологічний регламент визначає порядок проведення окремих стадій технологічного процесу, порядок планового пуску, планової та аварійної зупинки процесу, оптимальні технологічні режими виробництва продукції, що продукується.

Тип нафтопродукту – сукупність продуктів перероблення нафти однакового функціонального призначення.

Товарна продукція (товарний продукт) – та, що знаходиться у сфері обігу (на складах виробничих підприємств, торгових і збутових організацій, у роздрібній торгівельній мережі) і призначена для реалізації за функціональним призначенням.

Токсичність (хімічна безпека) – фізико-хімічна властивість ММ, що характеризує ступінь впливу ММ на здоров'я людини. Визначається такими показниками, як клас небезпеки, ГДК пари у повітрі та робочій зоні.

Тертя (зовнішнє) – опір, що виникає при відносному переміщенні двох тіл, що дотикаються в площині їх дотику.

Тертя спокою – тертя двох тіл при мікропереміщеннях до переходу до відносного руху.

Тертя руху – тертя двох тіл, що перебувають у відносному русі.

Тертя без мастильного матеріалу – тертя двох тіл за відсутності на поверхні тертя доданого ММ будь-якого виду.

Тертя з мастильним матеріалом – тертя двох тіл за наявності на поверхні тертя доданого ММ будь-якого виду.

Тертя ковзання – тертя руху двох твердих тіл, за якого швидкості тіл у точках торкання різні за величиною й напрямком.

Тертя кочення – тертя руху двох твердих тіл, за якого їх швидкості в точках торкання однакові по величині й напрямку.

Трибологія (трибоніка) – це наука про тертя, зношення, вид мащення та взаємодію контактуючих поверхонь при їх взаємному переміщенні. Назва цієї наукової дисципліни утворена з грецьких слів «трибос» – тертя і «логос» – наука. Трибологія як наукова дисципліна охоплює експериментально-теоретичні дослідження фізичних, механічних, електричних, магнітних, теплових, хімічних, біологічних та інших явищ, пов'язаних із тертям. У технічній літературі трапляється термін динамічне металознавство – це розділ металознавства, що вивчає структуру й властивості поверхневих шарів металів і сплавів у процесі тертя.

Триботехніка – наука про контактну взаємодію твердих тіл при їх відносному русі, що охоплює весь комплекс питань тертя, зношування й змащування машин. Останніми роками в триботехніці набули розвитку нові розділи – трибохімія, трибофізика й трибомеханіка.

Трибохімія – вивчає взаємодію контактуючих поверхонь із хімічно активним середовищем. Вона досліджує проблеми корозії під час тертя, хімічні основи вибіркового перенесення й вплив на поверхню деталей хімічно активних речовин, що виділяються під час тертя внаслідок деструкції полімерів або ММ.

Трибофізика – вивчає фізичні аспекти взаємодії контактуючих поверхонь при їхньому взаємному переміщенні.

Трибомеханіка – вивчає механіку взаємодії контактуючих поверхонь під час тертя. Вона розглядає закони розсіювання енергії, імпульсу, а також механічну подібність, релаксаційні коливання під час тертя, реверсивне тертя, рівняння гідродинаміки та ін. стосовно до завдань тертя, зношування й змащування матеріалів тертя. У деяких країнах замість терміна триботехніка вживають терміни трибологія й трибоніка.

Уніфікація (від лат. *unus* – один) означає раціональне скорочення кількості об'єктів однакового функціонального призначення (наприклад, марок автомобільного бензину).

Хемосорбція – процес сорбції при якому частинки речовини, що поглинається та поглинача вступають у хімічну реакцію, наприклад, взаємодія присадок в ММ з поверхнею тертя.

Хімотологія (лат. *chimia, motor* – той, що призводить до руху та грец. *logos* – вчення) – технічна прикладна наука про технологічні процеси, властивості, якість та методологію раціонального використання палив, олив, мастил і технічних рідин під час експлуатації техніки.

Хімотологічна карта – нормативний документ, що встановлює номенклатуру для експлуатації певного виробу техніки вітчизняних основних, дублюючих, резервних і закордонних марок ПММ, масу (об'єм) заправки ПММ, а також терміни заміни у виробках техніки конкретних марок ПММ, окрім не змінних і не поповнювальних під час експлуатації та ремонту техніки. Є складовою частиною конструкторської документації на виріб техніки.

Хімотологічна надійність – надійність техніки, що залежить від якості ПММ (характеристика (здатність) техніки забезпечувати протягом життєвого циклу надійне виконання заданих функцій на типах, марках ПММ раціонального рівня якості).

Хімотологічний процес – сукупність взаємопов’язаних та упорядкованих у часі фізико-хімічних перетворень ПММ, що протікають під дією різних внутрішніх і зовнішніх факторів системи.

Хімотологічна система – комплекс взаємопов’язаних елементів «Техніка – Експлуатація – ПММ» між якими протікають процеси, що зумовлюють ефективність функціонування системи.

Фізико-хімічні властивості – властивості ПММ, що визначаються в лабораторних умовах і служать для первинної або контрольної оцінки якості в місцях їх виробництва або використання.

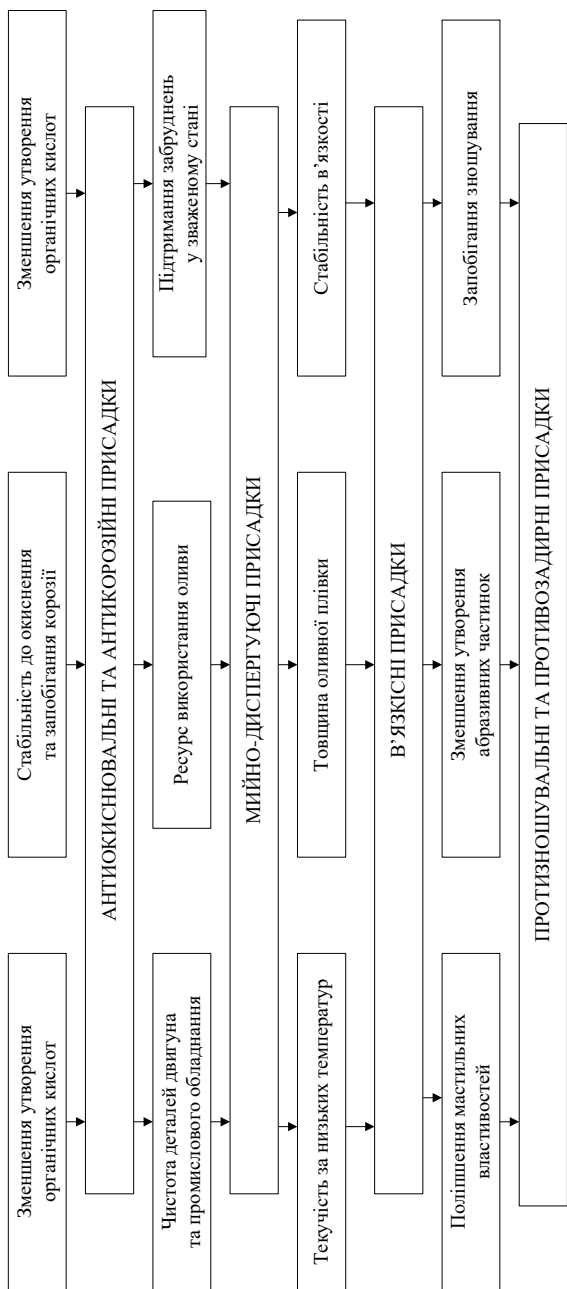
Якість ММ – сукупність властивостей (показників, характеристик), що зумовлюють придатність продукту до використання за призначенням, а також задовольняти встановлені й уявні потреби.

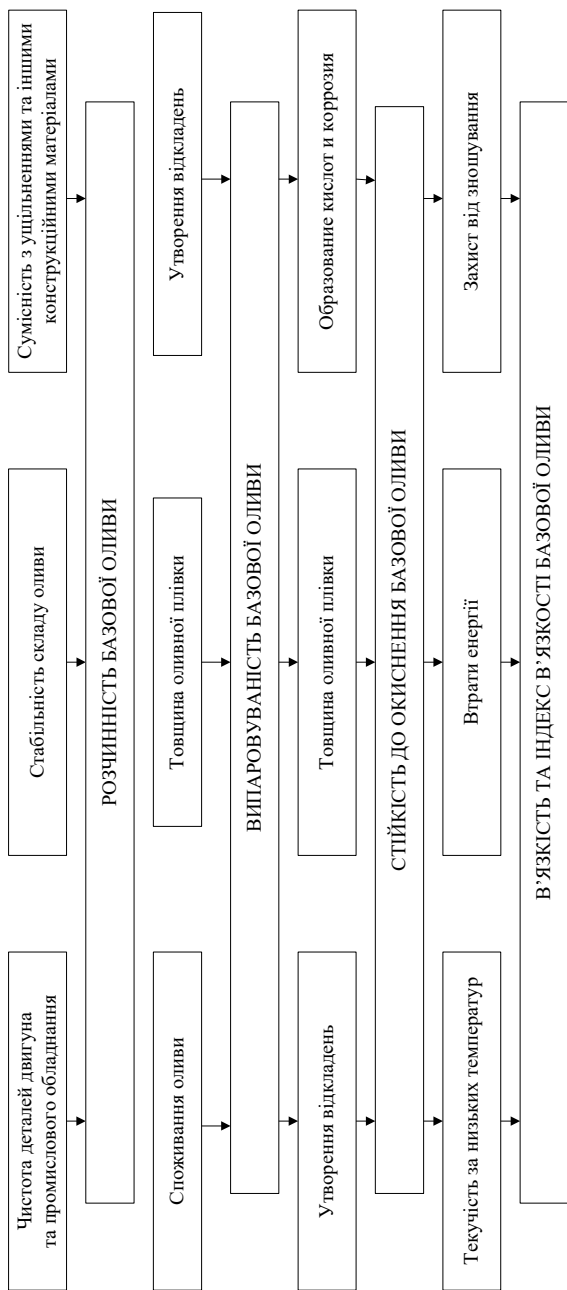
ПОРІВНЯЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МІНЕРАЛЬНИХ І СИНТЕТИЧНИХ ОЛИВ

Властивість *	Мінеральна парафінова олія						Синтетичні оливи							
	Вуглеводневі		Алкил-бензоли		Дикарбонових кислот		Поліліколеїні ефіри		Поліліколеві		Ефірів фосфорної кислоти		Силіконові	
	Поліаляфатини	Алкил-бензоли	Алкил-бензоли	Дикарбонових кислот	Поліліколеїні ефіри	Поліліколеві	Поліліколеві	Поліліколеві	Поліліколеві	Ефірів фосфорної кислоти	Силіконові			
змащувальні	4	4	4	5	5	4	4	4	4	6	3	3	3	
плинність	3	4	4	5	4	4	4	4	4	3	6	6	6	
індекс в'язкості	3	4	3	4	4	4	4	4	5	2	6	6	6	
низькотемпературні	2	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	
термостабільність	3	3	3	4	4	4	4	4	4	3	5	5	5	
термоокиснювана стабільність	3	5	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	
змішуваність	6	6	6	4	3	4	4	2	2	2	2	2	2	
випаровуваність	3	6	4	6	6	4	4	4	4	4	4	4	4	
гідролітична стабільність	6	6	6	3	3	3	3	5	5	3	4	4	4	
антикорозійні	6	6	6	3	3	3	3	4	4	3	4	4	4	
розчинна здатність присадок	6	4	6	5	5	3	3	3	3	4	2	2	2	
вогнестійкість	2	2	2	3	3	2	3	3	3	6	3	3	3	

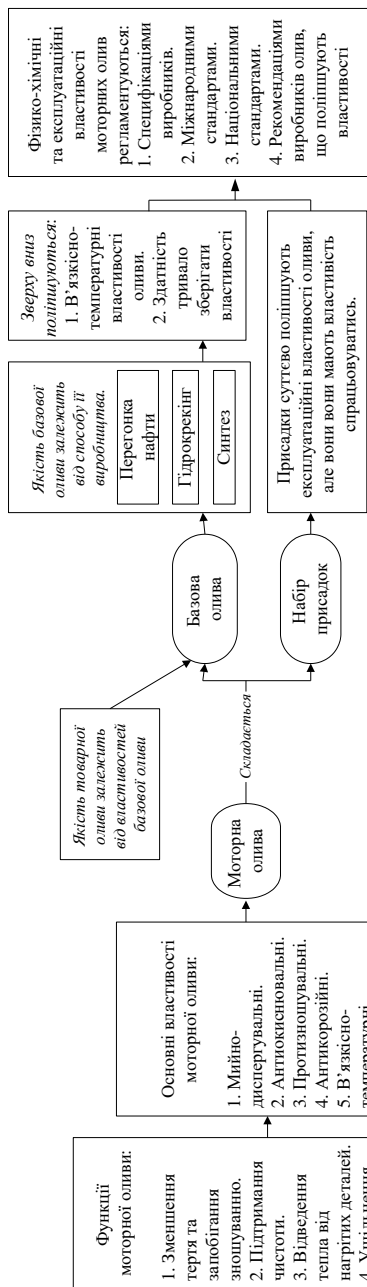
• Оцінка властивостей в балах: 6 – *вельми відмінно*; 5 – *відмінно*; 4 – *добре*; 3 – *задовільно*; 2 – *погано*

ВЛАСТИВОСТІ ОЛИВ, ОБУМОВЛЕНІ ПРИСАДКАМИ





ФОРМУВАННЯ ТОВАРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОТОРНОЇ ОЛИВИ



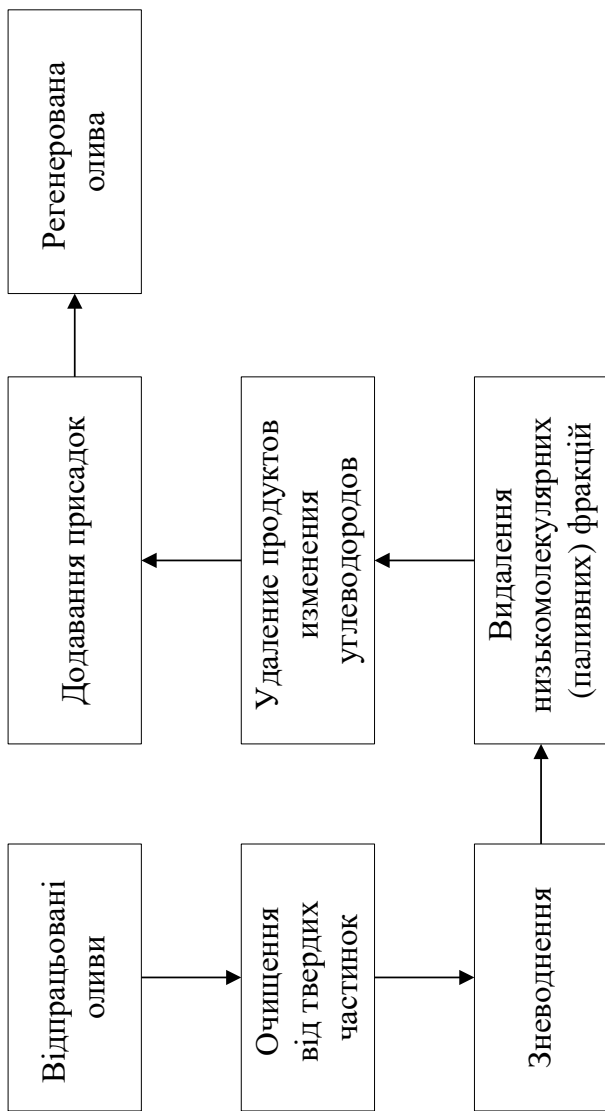
**ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ОЛИВ
І ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ДВИГУНІВ**

Найменування показника	Зміна інших показників	Ймовірні причини
Істотне (на 3–4 мм ² /с) збільшення в'язкості	Незначне	Доливання оливи підвищеної в'язкості (у випадку працездатного двигуна)
	Високий вміст нерозчинного осаду, різке зростання коксівності, потемніння та зменшення випаровуваності та відповідно дифузії на крапельному зразку	Незадовільні експлуатаційні властивості оливи, збільшене проривання газів до картеру (знос або втрата рухливості поршневих кілець, неповне згорання палива (несправність паливної апаратури, закоксовування розпилювачів форсунок, забруднення повітряного фільтра), не працюють оливні фільтри
	Оливна пляма за зоною дифузії крапельного зразка коричневого кольору	Перегрівання двигуна (тривала робота з перевантаженням за високої температури навколишнього середовища, накип у системі охолодження), забруднення оливного радіатора
Істотне (на 3–4 мм ² /с) зменшення в'язкості	Незначне	Доливання оливи з меншою в'язкістю, деструкція присадок у загущених оливах (у випадку непрацездатного двигуна)
	Зменшення температури спалаху	Витікання у системі живлення, незадовільне розпилення палива (непрацездатна паливна апаратура, закоксовування отворів розпилю-

Закінчення додатку 5

		вачів форсунок тощо); конденсація бензину в непрогрітому двигуні, перебагачення робочої суміші
Збільшення вмісту води понад 0,3–0,5 %	Зменшення лужного числа, коксівності, зменшення нерозчинного осаду, зникнення зони дифузії та характерне згортання плями крапельного зразка	Витікання рідини з системи охолодження в картер; доливання оливи, обводненої під час зберігання; негерметичність водооливногого теплообмінника
	Зростання кислотного числа	Підвищене зношування циліндропоршневої групи; необхідно замінити оливу та перевірити стан поршневих кілець
Істотне збільшення нерозчинного осаду	Пропорційне збільшення коксівності та в'язкості	Значний прорив газу в картер через знос або втрати рухливості поршневих кілець
Істотне зниження температури спалаху	Зростання вмісту нерозчинного осаду та коксівності, наявність паливних фракцій у складі оливи	Витікання в паливній системі, незадовільне розпилювання палива, прогар випускного клапана або поверхні поршня (відсутність компресії)
Істотне збільшення вмісту продуктів зношування	Незначне	Несправний очисник повітря, подавання неочищеного повітря через нещільності впускного тракту, порушення вентиляції картера

ТИПОВА БЛОК-СХЕМА РЕГЕНЕРАЦІЇ ОЛИВ



**СИСТЕМАТИЗАЦІЯ МЕТОДІВ І ОБЛАДНАННЯ
ДЛЯ РЕГЕНЕРАЦІЇ ОЛИВ**

Методи	Технології	Обладнання
Фізичні	Вплив силових полів (гравітаційного, відцентрового, електричного, магнітного)	Відстійники Гідроциклони Центрифуги Електроочисники Магнітні очисники
	Фільтрування через пористі перегородки	Фільтри Фільтри-водовідділювачі
	Теплофізичні технології (нагрівання, випарювання, водна промивка, атмосферна та вакуумна перегонка тощо)	Випарні колонки Вакуумні дистилятори Масообмінні апарати
	Комбіновані технології	Гідродинамічні фільтри Фільтрувальні центрифуги, магнітні фільтри Трибоелектричні очисники
Фізико-хімічні	Коагуляція	Змішувачі-відстійники
	Сорбція	Адсорбери
	Іонообмінне очищення	Іонообмінні апарати
	Екстракція	Екстрактори
Хімічні	Сірчаноокислотне очищення	Кислотні реактори
	Лужне оброблення	Лужні реактори
	Гідрогенізація	Гідрогенізатори
	Оброблення карбамідами металів	Реактори-змішувачі

ЗВЕДЕНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЯКОСТІ ОЛИВ, ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ ЯКОСТІ З ЕКСПЛУАТАЦІЙНИМИ ВЛАСТИВОСТІМ І МЕТОДИ ВИПРОБУВАННЯ

Найменування показника	Сутність показника, методи визначення	Взаєв'язок з експлуатаційними властивостями оливи
В'язкість	<p>Показник, що вказує на властивість рідини надавати опір переміщенню, обумовлений внутрішніми молекулярними взаємодіями в середовищі, що рухається.</p> <p>Динамічна в'язкість (η) – міра опору рідини текти. Визначається на ротажійних віскозиметрах (ССS MRV, Брукфілда та ін.) як відношення діючого дотичного напруження до градієнта швидкості або розраховується як добуток кінематичної в'язкості (ν) рідини та її густини (ρ) за тієї ж температури. Визначення (ГОСТ 1929) виконують на ротажійному віскозиметрі (типу Реотест) за методом А (для моторних і трансмісійних олив за низьких температур) або Б (для мазутів) і складається в реєстрації моменту опору обертанню внутрішнього циліндра або конуса вимірювального пристрою з нафтопродуктом що випробовується за різних градієнтів швидкості зрушення й розрахунку</p>	<p>Визначає пускові й експлуатаційні характеристики двигунів і агрегатів. У діапазоні робочих температур вузлів тертя до в'язкості моторних і трансмісійних олив ставляться суперечливі вимоги. Вони повинні мати досить низьку в'язкість для того, щоб забезпечити мінімальні втрати енергії на переміщення й подолання внутрішнього тертя, безперешкодне надходження оливи насосом по оливній системі (особливо за низьких температур). У той же час, вони повинні мати досить високу в'язкість для того, щоб забезпечити режим тертя зі змащенням, що гарантує реалізацію нормального зношування й відсутність ушкодження поверхонь тертя, а також низький рівень витоків через ущільнення</p>

	<p>напруги зрушення й динамічної в'язкості. Динамічна в'язкість може також визначатися з допомогою спеціальних каплярних віскозиметрів, віскозиметрів з падаючого кулькою й ін. Динамічна в'язкість, обумовлена на ротаційних віскозиметрах при заданих значеннях температури випробування та швидкості зрушення використовується для оцінки специфічних показників низькотемпературних властивостей моторних оливо – холодного пуску (Cold Cranking) і прокачуваності (Pumping), що використовуються у класифікації SAE J300. Одиниця вимірювання – паскаль-секунда (Па·с) або пуаз (П); $1\text{ П} = 0,1\text{ Па}\cdot\text{с}$.</p> <p>Кінематична в'язкість (ν) – міра опору рідини текти під впливом гравітаційних сил. Визначення (ASTM D 445, ISO 3104-94, ДСТУ ГОСТ 33) виконується каплярними віскозиметрами (типу Оствальда (Каннон-Фенске, Пінкевича й ін.), Убеллоде, Канон-Фенске-Опаку й ін.) і полягає у вимірюванні часу витікання певного об'єму досліджуємої ньютонівської рідини під впливом сили тяжіння.</p>	<p>(особливо за підвищених температур). В'язкість залежить від складу оливи, а також температури, тиску, швидкості зрушення й часу роботи оливи у вузлі тертя. Зі збільшенням температури в'язкість оливи зменшується, а з підвищенням тиску – збільшується. Рідина, в'язкість якої не залежить від догичного напруження й градієнта швидкості зрушення, називають «ньютонівською», а якщо відношення догичного напруження до градієнта швидкості непостійно – «неньютонівською». Нафтові оливи є типово ньютонівськими рідинами. Сучасні всесезонні оливи, що містять полімерні (загущуючі) присадки мають ньютонівські характеристики, що призводить до оборотного або незворотного зниження їх в'язкості при збільшенні швидкості зрушення. Зі збільшенням часу використання оливи на нафтовій основі у вузлі тертя</p>
--	---	--

Продовження додатку 8

	<p>Кінематичну в'язкість знаходять як добуток середньоарифметичного значення обмірюваного часу витікання (t) і постійної вискозиметра (C). Вимірюється в m^2/c, mm^2/c або сантистоксах (сСт); $1\text{сСт} = 1\text{ мм}^2/3 = 10^{-6}\text{ м}^2/с$.</p> <p>Умовна в'язкість – відношення часу витікання певної кількості досліджуваної рідини при заданій температурі з вискозиметра типу Енглера до часу витікання дистильованої води. Визначення виконується у вискозиметрі ВУ і полягає у визначенні відношення часу витікання з вискозиметра 200 cm^3 досліджуваного нафтопродукту за температури дослідження до часу витікання 200 cm^3 дистильованої води за температури 20 °С. Вимірюється умовних одиницях (ВУ).</p>	<p>відбувається збільшення в'язкості через нагрядження високомолекулярних продуктів окиснення. У всесезонних оливах може одночасно проявлятися тенденція зменшення в'язкості внаслідок термомеханічної деструкції загущуючих присадок. Через зростаючу тенденцію використання протизношувальних, протизадірних, антифрикційних і ін. присадок у складі моторних і трансмісійних олів значення в'язкості, як основного показника, що характеризує режим змащення вузлів тертя, поступово зменшується.</p>
<p>Зольність</p>	<p>Показник, що вказує на наявність золоутворюючих компонентів (металловмісних присадок, у т.ч. що мають свинець) і домішок у складі олів. Визначення (ISO 6245, EN 7, DIN EN 7, ASTM D 482) полягає в спалюванні випробуваної оливи й прожарюванні твердого залишку до постійної маси. Одиниця вимірювання – % мас.</p>	<p>Показники схильності до відкладень. Основним джерелом утворення золи є металовмісні присадки, тому показники «зольність» і «сульфатна зольність» використовують для оцінки їх присутності в товарних моторних і трансмісійних оливах. Разом з тим, попадання оливи в камеру згорання призводить до утворення золи</p>

<p>Зольність сульфатна</p>	<p>Показник, що вказує на склад металовмісних присадок (у т.ч. що вміщують барій, кальцій, магній, цинк, калій, натрій, олово, а також елементарну сірку, фосфор, хлор) у складі олів. Визначення (ASTM D 874, DIN51 575, ДСТУ ГОСТ 12417) полягає в спалюванні випробуваної оливи до одержання вуглистого залишку, перетворенні металевих складових присадок у сульфат дворазовою обробкою сірчаною кислотою й прожарюванням сульфатної золи за $t = 550 \pm 25 \text{ }^\circ\text{C}$ і $775 \pm 25 \text{ }^\circ\text{C}$ до постійної маси. За відсутності фосфору барій, кальцій, магній, калій і натрій перетворюються у відповідні сульфати, а олово (IV) і цинк в оксиди. Сірка й хлор не заважають визначенню. Вплив фосфору необхідно враховувати при вмісті більше 0,1 %, тому що метали в золі можуть бути присутнім у вигляді фосфатів. У зв'язку з тим, що сульфат цинку повільно розкладається, перетворюючись в оксид цинку, для завершення перетворення може знадобитися три або чотири періоди нагрівання проби. Одиниця вимірювання – % мас.</p>	<p>(як правило, сульфатів металів), здатної утворювати відкладення, замикати електроди свічок запалювання, викликати детонацію й передчасне запалення робочої суміші, прогар вихлопних клапанів, оплавлення й розтріскування поршнів, знижувати протизношувальні й протизадирні властивості олів. Тому сульфатну зольність у моторних оливах обмежують верхньою межею (0,4–2,0 % мас.) залежно від типу використовуваного палива, умов експлуатації, типу й конструкції двигуна. Найменшу зольність мають оливи для двотактних бензинових двигунів, найбільшу – оливи для високонагнужених дизелів. У трансмісійних оливах в окремих випадках регламентують нижню межу загальної зольності, а в деяких – верхню межу сульфатної зольності.</p>
----------------------------	---	--

<p>Індекс в'язкості</p>	<p>Відносна безрозмірна величина, що характеризує ступінь зміни в'язкості залежно від температури. Розраховується (ISO 2909, ДСТУ ГОСТ 25371) або знаходиться з таблиць і номограмам залежно від значень кінематичної в'язкості за $t = 40$ і $100\text{ }^{\circ}\text{C}$.</p>	<p>За індексом в'язкості (ІВ) оливи поділяють на низькоіндексні (ІВ < 80), середньоіндексні (ІВ = 80–90), високоіндексні (ІВ = 90–100 і вище). Чим вище індекс в'язкості, тим краща якість оливи й глибина його очищення, тим менше в'язкість залежить від зміни температури, тобто більше положою є в'язкісно-температурна залежність оливи за позитивних температур. Більшість мінеральних базових олив мають індекс в'язкості від 0 до 100, а загущені всесезонні оливи – понад 100.</p>
<p>Випаровуваність</p>	<p>Показник, що вказує втрати від випаровування під час безпосереднього використання оливи. Визначення за NOAK (DIN 51581) полягає в нагріванні проби в спеціальній чашці з накручуваною кришкою до температури $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ та пропусканні повітря над її поверхнею протягом 1 год і оцінці втрати маси. Одиниця вимірювання – %.</p>	<p>Характеризує випаровуваність оливи. Залежить від фракційного складу базових оливи. Чим нижча випаровуваність, тим менші втрати, ступінь загущення й схильність до утворення відкладень під час використання оливи.</p>

<p>Кислотне число</p>	<p>Показник, що вказує на кількість мг КОН, що витрачається на нейтралізацію всіх кислот компонентів що знаходиться в 1 г випробуваної оливи. Визначення (DIN EN 12634, ASTM D 664, SAE-ARP-5088, ГОСТ 5985, ГОСТ 11362) полягає в потенціометричному титруванні проби спиртовим розчином гідроокису калію, фіксації показань потенціалу залежно від об'єму доданого розчину, що титрується, і визначенні об'єму витраченого розчину, що титрується, за точкою перегику на кривій титрування. Якщо ця точка виражена нечітко, те за точкою кінця титрування, що відповідає потенціалу свіжоприготовленого буферного розчину. Одиниця вимірювання – мг КОН/г.</p>	<p>Характеризує корозійну й захисну здатність оливи. Деталі, виготовлені зі сталей і, особливо, сплавів кольорових металів (алюмінію, міді, свинцю, олова) при хімічній взаємодії з кислотами продуктами піддаються корозії. Кислотність мінеральних олив обумовлена наявністю в них високомолекулярних нафтиєвих кислот. У процесі зберігання й використання внаслідок окиснення кислотне число збільшується, а також корозійна агресивність оливи збільшується. Показник використовують також для контролю якості під час виробництва й зберігання оливи.</p>
<p>Коксівність</p>	<p>Показник, що вказує схильність оливи до коксівності. Визначення показника за методом Конрадсона (ISO 6515) полягає в спалюванні випробуваного нафтопродукту в спеціальному апараті або іншій конструкції обладнання, що створює можливість отримати аналогічні результати і визначенні маси коксового залишку. Одиниця вимірювання – % мас.</p>	<p>Характеризує схильність до відкладень. Пряма залежність між коксівністю (коксове число за Конрадсоном) і нагароутворенням у двигуні відсутні. Показник використовується, головним чином, для контролю ступеня очищення оливи.</p>

Корозійність	<p>Показник, що вказує на ступінь корозійної агресивності оливи. Визначення (ГОСТ 20502) полягає в оцінці зміни маси металевих пластин, підданих періодичному впливу випробовуваного продукту й повітря, нагрітих до температури 140 °С (або до температури, зазначеної в нормативній документації на продукт).</p> <p>Стандарт встановлює два методи випробування: А – для визначення корозійності моторних оливи і присадок до них на приладі «ДК-НАМИ». Випробування виконують із використанням свинцевих пластин за 1 або 2-м варіантом. За 1-м варіантом випробовують оливи для нефорсованих двигунів без додавання каталізатора протягом 10 год за $t = 140 \pm 1$ °С або температури, зазначеної в нормативній документації на продукт. За 2-м варіантом випробовують оливи для форсованих двигунів з додаванням каталізатора (нафтенат міді) протягом 25 год $t = 140 \pm 1$ °С або температури, зазначеної в нормативній документації на продукт. Оцінюється втрата маси свинцевої пластини в г/м². Втрата маси пластини до 1 г/м² включно під час виконання випробувань за 1-м варіантом й до 5 г/м² за 2-м приймається за</p>	<p>Характеризує корозійну й захисну здатність оливи. Корозійна агресивність моторних і трансмісійних оливи залежить від складу базових оливи і типу присадок, що використовуються. У процесі старіння корозійність оливи зростає. Найбільшу схильність до утворення корозійно-агресивних продуктів під час окиснення (органічні кислоти) мають базові оливи з малосірчистих нафт з високим вмістом парафінових вуглеводнів. Зі збільшенням вмісту в складі оливи кислот продуктів швидкість корозії збільшується. Корозія підсилюється також під час попадання в оливу води.</p> <p>Найбільше піддаються корозії в оливах деталі вузлів і агрегатів автомобілів, виготовлені з алюмінію, міді та їх сплавів, що містять свинець і олово як легуючі добавки. Для захисту деталей з кольорових сплавів до складу оливи додають інгібітори корозії або присадки, здатні запобігати утворенню агресивних кислот або нейтралізувати шкідливий</p>
--------------	---	--

	<p>відсутність корозії. Б – для визначення корозійності олів і рідин, призначених для застосування в авіаційній та спеціальній техніці на апараті типу Пінкевича (або аналогічних) на металевих пластинках з різних матеріалів.</p>	<p>вплив кислотних продуктів (антиокиснювальні, мийно-диспергувальні та інші присадки).</p>
<p>Масова доля активних елементів</p>	<p>Показник, що вказує на присутність присадок. - визначення вмісту барію, кальцію й цинку (ГОСТ 13538) полягає у розкладанні солей металів, що знаходяться в складі присадок і олів із присадками або в їх золі, соляною кислотою й комплексно-метричним титруванням обумовлених елементів; - визначення вмісту хлору (понад 0,1 %) (ГОСТ 20242) полягає в спалюванні випробуваного нафтопродукту в калориметричній бомбі в атмосфері кисню з поглинанням продуктів згорання розчином вуглекислого натрію й у наступному титруванні розчином азотнокислої окисної ртуті в присутності індикатора дифенілкарбазона; - визначення вмісту фосфору (понад 0,1 %) (ГОСТ 9827) виконується фотометричним методом і полягає в спалюванні випробуваного в калориметричній бомбі, в атмосфері кисню в</p>	<p>Характеризує змащувальну здатність моторних і трансмісійних олів. Характеризує рівень легування олів протизадирними, протизносними й мийними присадками. Застосовується для контролю якості олів під час виробництва й зберігання олів, а також для оцінки ступеню спрацювання присадок під час використання. В останні роки застосовується також для оцінки можливостей використання олів у двигунах, оснащених каталітичними нейтралізаторами відпрацьованих газів.</p>

	<p>присутності води з утворенням ортофосфорної кислоти й колориметричному визначенні вмісту фосфору в присутності ванадієвокислого амонію й молібденовокислого амонію;</p> <p>- визначення вмісту сірки (не менш 0,1 %) прискореним методом (ГОСТ 1437) полягає в спалюванні випробуваного продукту в струмені повітря, уловлюванні утворених сірчистого й сірчаного ангідридів розчином перекису водно із сірчаною кислотою й титруванні розчином гідроокису натрію.</p> <p>Одиниця вимірювання – % мас.</p>	
<p>Масова доля води</p>	<p>Показник, що вказує вміст у складі оливи води.</p> <p>Визначення (ASTM D 95, ASTM D 4006, ISO 9029, ГОСТ 2477) полягає в нагріванні проби оливи з нерозчинним у воді розчинником (для оливи – нафтовий дистилат з межами кипіння від 100 до 200 °С) та вимірюванні об'єму сконденсованої води. Одиниця вимірювання – % об. або % мас . Кількість води в приймачі-уловлювачі 0,03 см³ і менше вважається «слідами».</p> <p>Відсутність води у випробуваному продукті визначається станом, за якого в нижній частині приймача-уловлювача не видно крапель води.</p>	<p>Характеризує прокачуваність моторних і трансмісійних оливи. При попаданні води в оливу утворюються низькотемпературні відкладення, що затрудняють фільтрацію оливи, що погіршує її надходження до деталей, що труться та порушує нормальну роботу вузлів тертя. За низьких температур, кристали льоду що утворюються, затрудняють прокачування оливи по мастильній системі в момент пуску й у початковий період роботи вузлів</p>

Продовження додатку 8

	<p>У сумнівних випадках відсутність перевіряється нагріванням випробуваного нафтопродукту в пробірці, поміщеної в оливний термостат до температури 150 °С. При цьому за відсутність води вважається випадок, коли не чутно тріск.</p>	<p>і агрегатів автомобіля. попадання води може викликати підвищення корозійної агресивності оливи.</p>
<p>Масова доля механічних домішок</p>	<p>Показник, що вказує на забруднення оливи сторонніми частками що перебувають у зваженому стані. Визначення (ГОСТ 6370) полягає у фільтруванні випробуваних продуктів з попереднім розчиненням повільно фільтрівних продуктів у бензині або толуолі, промиванні осаду на фільтрі розчинником з наступним висушуванням і зважуванням. Одиниця вимірювання – % мас. Масова частка механічних домішок до 0,005 % включно оцінюється як їх відсутність.</p>	<p>Показник прокачуваності моторних і трансмісійних оливи. Неородні частки (пил, пісок і т.п.) можуть потрапити в масло при виробництві, транспортування й/або зберіганні. При експлуатації можливе забруднення масел нерозчинними в маслі смолисто-вуглеводневими речовинами, продуктами зношування й ін. Нагрюмадження механічних домішок приводить до забивання фільтрів, маслопровідних каналів, підвищення швидкості окислювання масла, посилення абразивного зношування, проявленню процесів пошкоджуваності.</p>
<p>Механічна стабільність</p>	<p>Здатність всесезонної (загущеної) оливи протистояти процесам механічної деструкції в якісних полімерних присадок. Визначення (ASTM D 3945, DIN 51 382) полягає</p>	<p>Характеризує зменшення в'язкості внаслідок деструкції (руйнування) молекул полімеру, що може призвести до зміни режиму змащення, прояву процесів</p>

Продовження додатку 8

	<p>в багаторазовому прокачуванні проби оливи через насос-форсунок (інжектор Боша) й оцінці необоротного зниження в'язкості. Оцінюють також за результатами оцінки зміни в'язкості після стендових випробувань. Одиниця вимірювання – мм²/с або %.</p>	<p>пошкодження поверхонь тертя, а також збільшення витоку оливи із систем змащення.</p>
<p>Мийні властивості</p>	<p>Показник, що вказує на рівень мийних властивостей моторних олиव із присадками. Визначення (ISO 3166, ГОСТ 5726) полягає у випробуванні оливи на одноциліндровому двигуні (наприклад, установка ПЗВ) і наступному оцінюванні шлакоутворення на бічній поверхні поршня за допомогою кольорової еталонної шкали. Одиниця вимірювання – бали від 0 (чистий поршень) до 6 (повністю покритий лаком чорного кольору).</p>	<p>Характеризує схильність оливи до відкладень. Чим вище мийно-диспергувальна здатність моторних олив, тим більше нерозчинних продуктів окиснення оливи і неповного згорання палив може втримуватися в працюючій оливі, тим менше лакоутворюваних відкладень і нагарів утворюється на гарячих деталях, тим вище може бути припустима робоча температура (ступінь форсування) двигуна.</p>
<p>Мийний потенціал</p>	<p>Показник, що дає кількісну оцінку здатності мийної присадки забезпечувати високу дисперсність часток, що з'явилися в складі оливи внаслідок окиснення або забруднення сажою й іншими продуктами неповного згорання, що надходять до оливи з камери згорання двигуна. Визначення полягає в окисненні оливи за температури не нижче 210 °С у присутності</p>	

	<p>контрольної проби оливи, що утворює у цих умовах дисперсну фазу, і наступному оцінюванні осаду, що утворився. Чисельно рівний максимуму вмісту (%) еталонної речовини у випробуваній оливі, за якого олива здатна зберігати високу агрегативну стійкість при окисненні.</p>	
<p>Густина</p>	<p>Фізична константа, маса одиниці об'єму. Визначення (ДСТУ ГОСТ 31072, ASTM D 4052, EN ISO 3675, ГОСТ 3900) може виконуватись двома методами: - визначення з використанням ареометра. Полягає в зануренні ареометра у випробуваний продукт, фіксуванні показників за шкалою ареометра за температури визначення й перерахуванні результатів на значення за температури 20 °С. - визначення з використанням пікнометра. Полягає у визначенні відносної густини відношення маси випробуваного продукту до маси води, взятої в тому ж об'ємі й за тієї ж температури. Так як за одиницю маси береться маса 1 см³ води за температури 4 °С, то густина, в одиниці вимірюванні г/см³, буде чисельно дорівнювати густині по відношенню до води</p>	<p>Характеризує прокачуваність оливи. Залежить від фракційного складу базових оливи. Є однією з важливих експлуатаційних характеристик оливи для гідромеханічних трансмісій. Використовується головним чином для контролю якості під час виробництва та зберігання оливи. Застосовується як експлуатаційний параметр у випадку перерахування об'ємних одиниць у масові під час відвантаження оливи споживачеві.</p>

	<p>за температури 4 °С. Для приведення значень густини, отриманих за іншої температури вимірювання до стандартного (20 °С), користуються спеціальними таблицями або розраховують за відповідних формулами. Одиниця вимірювання – кг/м³, г/см³.</p>	
<p>Схильність оливи до піноутворення</p>	<p>Визначення (ГОСТ 23652) полягає в продуванні певного об'єму повітря через оливу з постійною швидкістю й визначенні об'єму піни. Вимірюється об'єм піни в см³, що утвориться після продування повітря через оливу протягом 5 хв за $t = 24, 94$ і $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ (після випробування за $t = 94\text{ }^{\circ}\text{C}$).</p>	<p>Характеризує прокачуваність оливи. Піноутворення викликає порушення нормальної роботи систем змащування агрегатів і вузлів техніки. Піноутворення залежить від фізико-хімічних властивостей оливи (поверхневий натяг, густина, в'язкість, наявність присадок ПАР й ін.) і експлуатаційних характеристик систем змащування (температура, тиск, кратність циркуляції, швидкість перемішування). Піноутворенню в оливах запобігають додаванням протипінних присадок.</p>

<p>Сумісність з гумовими ущільнювачами</p>	<p>Показник, що показує наявність взаємодії оливи з гумою або гумовими виробами, що перебувають у ненапруженому стані. Визначення (ГОСТ 9.030) полягає в зануренні за контрольованих умов випробувань в оливу зразків гуми з наступним визначенням стійкості до зазначеного впливу через оцінювання: - за методом А – зміни маси, об'єму й розмірів; - за методом Б – маси речовин, екстрагованих середовищем зі зразків; - за методом В – зміни значення одного або декількох показників фізико-механічних властивостей (умовної міцності під час розтягування, відносного подовження в момент розривання, умовної напруги при заданому подовженні, твердості за Шором А тощо).</p>	<p>В умовах експлуатації техніки за підвищених температур відбувається взаємодія оливи з матеріалами ущільнень. Це може призвести, з однієї сторони, до зміни форми, розмірів, міцності й пластичності ущільнень та виходу їх з ладу. З іншого боку, може відбутися небажана зміна складу оливи в результаті розчинення в ньому матеріалу ущільнень. Підвищення сумісності оливи з матеріалами ущільнень вирішується як через підбір компонентів оливи, так і заміною матеріалів ущільнень, що мають більшу стійкість до впливу оливи.</p>
<p>Стабільність за індукційним періодом осадотворення</p>	<p>Показник, що показує максимальний час окиснення, в протягом якого масова частка осаду, що утворюється, в окисненій оливі не перевищує 0,5 %. Визначення (ГОСТ 11063) полягає в окисненні оливи за $t = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ у приладі «ДК-НАМИ» протягом часу, зазначеного в нормативній документації на випробувану оливу, з наступним визначенням осаду в окисненій оливі й відносній зміні її в'язкості.</p>	<p>Характеризує схильність моторних оливи до відкладен. При тривалій роботі оливи у двигуні відбувається поступове виснаження антиокиснювальних присадок. Це призводить до збільшення швидкості окиснення оливи і нагромадження в ньому нерозчинних продуктів окиснення (осадів).</p>

<p>Ступінь чистоти</p>	<p>Показник, що вказує на ступінь чистоти оливо. Визначення (ГОСТ 12275) полягає в розчиненні випробуваної оливи й фільтруванні розчину через мембранні фільтри. Ступінь чистоти оливи оцінюється за числом фільтрації та кількості осадів, затримуваних фільтрами. Число фільтрацій визначається за кількістю фільтрів, витрачених за повного відфільтрування всього розчину оливи при зміні фільтрів через кожні 5 хв фільтрування. Кількість осадів, затримуваних фільтрами, визначається за збільшенням ваги фільтрів після відфільтрування розчину. Метод не застосовується для аналізу оливо, що містять вільну воду більше 0,1 %. Одиниці вимірювання – мг на 100 г оливи.</p>	<p>Характеризує прокачуваність моторних оливо. Показник використовується, головним чином, для контролю ступеня очищення оливо і якості присадок, що додаються до складу оливо для підвищення їх експлуатаційних властивостей.</p>
<p>Температура спалаху у відкритому тиглі</p>	<p>Показник, що вказує на мінімальну температуру, за якої пари продукту, що нагрівається в умовах, встановлених стандартом, утворюють із навколишнім повітрям суміш, що спалахає при піднесенні до неї полум'я. Визначається (ASTM D92, ISO 2592:2000, ГОСТ 4333) за методами: А – за методом Клівленда; Б – за методом Бренкена. Одиниці вимірювання – °С.</p>	<p>Характеризує пожежонебезпеку оливо. Залежить від фракційного складу оливо і характеризує наявність у них легкокиплячих фракцій. Побічно пов'язаний з показниками випаровуваності оливо. Використовується також для контролю якості під час виробництва й зберігання оливо.</p>

<p>Температура застигання</p>	<p>Показник, що показує температуру, за якої нафтопродукт втрачає рухливість. Визначення (ASTM D97, ISO 3016, ГОСТ 20287 метод А) полягає в попередньому нагріванні зразка випробуваного нафтопродукту з наступним охолодженням його із заданою швидкістю до температури, за якої зразок оливи залишається нерухливим. Одиниці вимірювання – °С.</p>	<p>Характеризує прокачуваність оливи. При зниженні температури в об'ємі оливи може відбуватися кристалізація парафінів, що приводить до значного підвищення в'язкості. Температура застигання повинна бути на 5–7 °С нижче тієї температури, за якої олива повинна забезпечити прокачуваність у системі змащування. Поліпшення низькотемпературних властивостей досягається депарафінізацією базових оливи і додаванням депресорних присадок.</p>
<p>Термоокисновальна стабільність</p>	<p>Показник характеризує схильність моторних і трансмісійних оливи до утворення лакових відкладень на деталях і ефективності присадок, що зменшують шлакоутворення. - визначення (ГОСТ 23175) полягає в нагріванні в спеціальному апараті тонкого шару оливи на металевій поверхні, випаровуванні легколетючих речовин, що знаходяться в оливі й утворюються під час його розкладання, з наступним поділом осаду на робочу фракцію й лак і остаточною визначенням термоокисновальної стабільності. Вимірюється у хв, протягом яких</p>	<p>Характеризує схильність моторних і трансмісійних оливи до відкладень. Під час роботи оливи в агрегатах і вузлах автомобілів за підвищених температур у сполученні з каталітично дією металів і активним впливом кисню повітря відбувається окиснення оливи з утворенням нерозчинних речовин і осадженням їх на нагрітих деталях двигунів і трансмісій. При цьому погіршуються фізико-хімічні й експлуатаційні характеристики оливи.</p>

Продовження додатку 8

	<p>випробувана олива за $t = 250\text{ }^{\circ}\text{C}$ або вказаної в нормативній документації температури перетворюється в залишок, що складається з 50 % робочої фракції й 50 % лаку.</p> <p>- визначення (ГОСТ 23652) полягає в окисненні оливи за підвищеної температури в спеціальному термоокиснювальному обладнанні (коробка передачі із неіржавіючої сталі з парою шестірень) і наступним визначенням збільшення в'язкості окисненої оливи й вмісту в ній речовин, нерозчинних у петролейному ефірі або бензолі. Збільшення в'язкості оливи під час його окиснення вимірюється в % мас., масова частка в окисненій оліві речовин, нерозчинних у петролейному ефірі й бензолі в % мас.;</p> <p>- визначення (ГОСТ 11063-77 і п.5.4.2 ГОСТ 23652) полягає в окисненні оливи в приладі «ДК-НАМИ» за $t = 140\text{ }^{\circ}\text{C}$ протягом 20 год у присутності мідної пластинки й наступному визначенні зміни в'язкості й осаду, що нерозчинний в петролейному ефірі. Збільшення в'язкості оливи під час його окиснення вимірюється в % мас., масова частка в окисненій оліві речовин, нерозчинних у петролейному ефірі й бензолі в % мас. Масова частка осаду до 0,02% оцінюється як відсутність.</p>	<p>підвищується в'язкість, кислотне число, корозійна агресивність, погіршуються противозадірні властивості. Для підвищення термоокиснювальної стабільності оливи до їх складу додають антиокиснювальні й мийно-диспертувальні присадки.</p>
--	---	---

<p>Триботехнічні властивості</p>	<p>Комплекс показників, що характеризують протишнувальні, протизадірні й антифрикційні властивості. Оцінка показників виконується з використанням машин тертя або спеціальних стендів. Визначення (ASTM D 2783, ГОСТ 9490) полягає у випробуванні оливи на ЧШМ при заданих осьових навантаженнях і визначенні критичного навантаження, навантаження зварювання, індексу задиру та показника зношування. Зазначені показники характеризують протизношувальні й протизадірні властивості оливи.</p>	<p>Характеристика змащувальних властивостей оливи. Характеризують присутність і ефективність у складі оливи протишнувальних, протизадірних і антифрикційних присадок. Використовуються для оцінки якості оливи під час їх виробництва й зберігання. Зниження триботехнічних властивостей оливи внаслідок спрацювання присадок у процесі експлуатації техніки призводить до збільшення інтенсивності зношування й прояву неприпустимих явищ пошкодження поверхонь тертя.</p>
<p>Колір</p>	<p>Показник, що свідчить про колір нафтопродукту за шкалою порівнянь. Визначення (ISO 2049, ГОСТ 20284) полягає у візуальному порівнянні на колориметрі (з набором кольорових світлофільтрів, що забезпечують одержання результатів відповідно до точності методу) кольору нафтопродукту або його розчину з кольоровими скляними світлофільтрами. Одиниця вимірювання – умовні одиниці від 0,5 до 8.</p>	<p>Характеризує збережуваність моторних і трансмісійних оливи. Характеризує глибину та якість очищення базових оливи. Використовуються також як товарний показник під час виробництва й зберігання оливи.</p>

<p>Лужне число</p>	<p>Показник, що вказує на кількість лугу, виражений в мг КОН в 1 г випробуваної оливи. Визначення (ISO 6619, ГОСТ 11362) полягає в потенціометричному титруванні проби спиртовим розчином соляної кислоти (0,1 моль/ дм³) і визначенні кількості лугу, виражений у мг КОН на 1 г зразка оливи, що витрачається на потенціометричне титрування випробуваної оливи. Визначення (ISO 3771, ГОСТ 30050) полягає в розчиненні випробуваної оливи в безводній суміші хлорбензолу із крижаною оцтовою кислотою й титруванні еталонним волюмометричним розчином хлорної кислоти в крижаний оцтовий кислоті потенціометричним титрометром. Одиниці вимірювання – мг КОН/г. Для багатьох нафтопродуктів обидва методи відображають аналогічні результати. Під час випробування оливи, що містять високоолужні присадки й азотисті полімерні сполуки, визначення загального лужного числа методом ГОСТ 11362 (ASTM D 664) може відобразити занижені результати. У цих випадках використовується метод за ISO 3771 (ГОСТ 30050).</p>	<p>Характеризує схильність оливи до утворення відкладень. Зі збільшенням лужного числа підвищується здатність оливи нейтралізовувати корозійно-агресивні кислі продукти, що утворюються під час його окиснення. Разом з тим, надлишкова лужність, що не витрачена на нейтралізацію кислих продуктів, впливає на протизношувальні й пропизадирині властивості оливи.</p>
--------------------	---	---

Навчальне видання

*«Хто думає про науку, той любить її,
а хто її любить, той ніколи не переставє вчитися...»*

Григорій Сковорода

**БОЙЧЕНКО Сергій, ПУШАК Андрій
ТОПЛЬНИЦЬКИЙ Петро, ЛЮБІНІН Йосип
ЛЕЙДА Казимир**

**ОЛИВИ.
МОТОРНІ, ТУРБІННІ, ГІДРАВЛІЧНІ ТА ТРАНСМІСІЙНІ:
ВЛАСТИВОСТІ ТА ЯКІСТЬ**

Підручник

За загальною редакцією професора С. Бойченка

Містить основні теоретичні відомості про оливи (моторні, турбінні, гідравлічні, трансмісійні). Прив'язаний основним фізико-хімічним і експлуатаційним властивостям моторних, турбінних, гідравлічних і трансмісійних оливо, основним технологічним процесам їх продукування, технічним вимогам до їх якості та системі контролю якості. Особливим кластером матеріалу підручнику став розділ про системи змащування авіаційних двигунів, оливи для авіаційних двигунів, а також розділ про виореклений альтернативний вид оливо – біологічні оливи.

Призначено для студентів, які навчаються за спеціальностями, що передбачають вивчення дисциплін, пов'язаних із використанням оливо під час експлуатації техніки.

Підручник буде корисним для фахівців транспортної сфери, а також нафтопродуктозабезпечення, аспірантів і здобувачів наукового ступеня відповідного профілю.



Підп. до друку 04.03.2019. Формат 60x84 1/16. Папір офсетний.

Гарнітура Тип Таймс. Друк офсет. Ум. друк. арк. 20,25.

Наклад 500 прим. Зам. № 04-03/19-1.

ТОВ «Видавництво «Центр учбової літератури»
вул. Електриків, 23 м. Київ 04176

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру видавців,
виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції
ДК № 4162 від 21.09.2011 р.