

МЕХАНІКО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра експлуатації та ремонту рухомого складу

Д. С. Жалкін, С. Г. Жалкін

ХІМОТОЛОГІЯ МОТОРНИХ ОЛИВ

Конспект лекцій

з дисципліни

***«ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ, ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ
ПРОЕКТУВАННЯ ПІДПРИЄМСТВ ТА ЕКОЛОГІЯ
ЛОКОМОТИВНОГО ГОСПОДАРСТВА»***

Частина I

Харків – 2018

Жалкін Д. С., Жалкін С. Г. Хімотологія моторних олив:
Конспект лекцій. – Харків : УкрДУЗТ, 2018. – Ч. 1. – 53 с.

У даному конспекті лекцій наведено матеріали, що стосуються хімотології моторних олив. Цей конспект є третьою частиною загального конспекту лекцій з дисципліни «Експлуатаційні матеріали, основи технології проектування підприємств та екологія локомотивного господарства», але водночас і першою частиною конспекту на названу тему. В конспекті розглянуто класифікацію та способи отримання мастильних матеріалів, основні фізико-хімічні властивості мінеральних олив, основні положення теорії змащування поверхонь деталей, що труться. Окремо розглянуто засоби покращення властивостей моторних олив, номенклатуру та характеристики присадок. Надано класифікацію та позначення моторних олив, сфери застосування різних груп, у тому числі тих, які застосовуються на тепловозах та дизель-поїздах.

Рекомендується студентам та магістрантам спеціальності 273 «Залізничний транспорт», що навчаються за освітньою програмою «Локомотиви та локомотивне господарство», всіх форм навчання, які вивчають курс «Експлуатаційні матеріали, основи технології проектування підприємств та екологія локомотивного господарства».

Іл. 5, табл. 6, бібліогр: 13 назв.

Конспект лекцій розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу 10 квітня 2017 р., протокол № 15.

Рецензент

проф. О. С. Крашенінін

Д. С. Жалкін, С. Г. Жалкін

ХІМОТОЛОГІЯ МОТОРНИХ ОЛИВ

Конспект лекцій

з дисципліни

*«ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ, ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ
ПРОЕКТУВАННЯ ПІДПРИЄМСТВ ТА ЕКОЛОГІЯ
ЛОКОМОТИВНОГО ГОСПОДАРСТВА»*

Частина I

Відповідальний за випуск Максимов М. В.

Редактор Решетилова В. В.

Підписано до друку 26.05.17 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 2,25. Тираж 50. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Український державний університет
залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6100 від 21.03.2018 р.

ЗМІСТ

1 Класифікація і способи отримання мастильних матеріалів	4
1.1 Класифікація мастильних матеріалів	4
1.2 Склад і добування олив	5
1.3 Технологія очистки базових олив	6
1.4 Основні вимоги до якості олив	11
2 Основи теорії тертя та зношування	12
3 Основні положення теорії змащування	15
4 Основні фізико-хімічні властивості мінеральних олив	21
5 Покращення властивостей моторних олив	31
5.1 Основні властивості та характеристики присадок ..	32
6 Номенклатура олив локомотивного господарства	38
Питання для підготовки до модульного контролю	49
Список літератури	52

1 Класифікація і способи отримання змащувальних матеріалів

1.1 Класифікація мастильних матеріалів

Мастильні матеріали поділяються за походженням на рослинні, тваринні і мінеральні. Рослинні мастильні матеріали отримують при переробці насіння рослин (касторова, бавовняна, суріпна й інші оливи), тваринні - при переробці туш тварин (бараняче і яловиче сало, технічний риб'ячий жир, кістяна і спермацетова оливи). Частка рослинних і тваринних мастильних матеріалів з розвитком хімії різко скорочується і вони замінюються синтетичними і мінеральними.

Основним видом сировини для отримання мінеральних мастильних матеріалів є нафта, кам'яне вугілля, торф, сланці. Із мастильних матеріалів мінерального походження найбільш поширені нафтові оливи (осьові, циліндрові, моторні й ін.).

Мастильні матеріали бувають рідкі, пластичні (консистентні) і тверді. Рідкими мастильними матеріалами, або оливами, називаються ті з них, які при звичайній температурі знаходяться в рідкому стані.

Пластичними (консистентними) мастильними матеріалами, або мастилами, називаються такі, які за вказаної умови зберігаються в напіврідкому або твердому стані. При нагріванні матеріали цієї категорії плавляться і переходять в рідкий стан. Солідоли, консталини, вазеліни – приклади таких мастил.

Тверді мастильні матеріали не змінюють свого стану при зміні температури навколишнього середовища. До таких матеріалів відносять графіт, тальк, слюду й ін.

Мінеральні мастильні оливи класифікуються так: за способом отримання – на дистилятні, залишкові і змішані; за способом очистки – на оливи кислото-лужної очистки, кислото-контактної лужної і селективної очистки; за призначенням – на індустріальні, авіаційні, автотракторні, дизельні, трансмісійні, оливи для парових поршневих машин, осьові, турбінні, компресорні, оливи спеціального призначення.

Всі перераховані мастильні оливи знаходять застосування на залізничному транспорті.

1.2 Склад і добування оливо

Оснoву мoтoрних oлив стaнoвлять мінeрaльнi oливи, якi видoбувaють з мaзуту. Як вiдoмo, мaзут – це зaлишoк пiсля прямoї пeрегoнки нaфти, щo склaдaється з вaжких фрaкцiй. Тoму видoбутi з мaзуту oливи, a тaкoж пaливo для двигунiв в oснoвнoму склaдaються з вуглeвoднiв, якi мaють велику мoлeкулaрну мaсу. У мінeрaльних oливах, якi видoбувaють iз мaзуту, крiм вуглeвoднiв oбoв'язкoвo нaявнi нaфтeнoвi кислoти, сiрчистi спoлуки й смoлистo-асфaльтeнoвi рeчoвини.

Зa спoсoбoм видoбувaння oливи пoдiляютьcя нa дистилaтнi та зaлишкoвi.

Дистилaтнi oливи видoбувaють вaкyумнoю пeрегoнкoю мaзуту з прoдyвaнням вoдянoю пaрoю, при цьoму видiляється нe мeншe нiж трi oливнi дистилaти, щo мiстять вуглeвoднi з тeмпeрaтурoю кипiння 300..500 °С (рисунок 1).

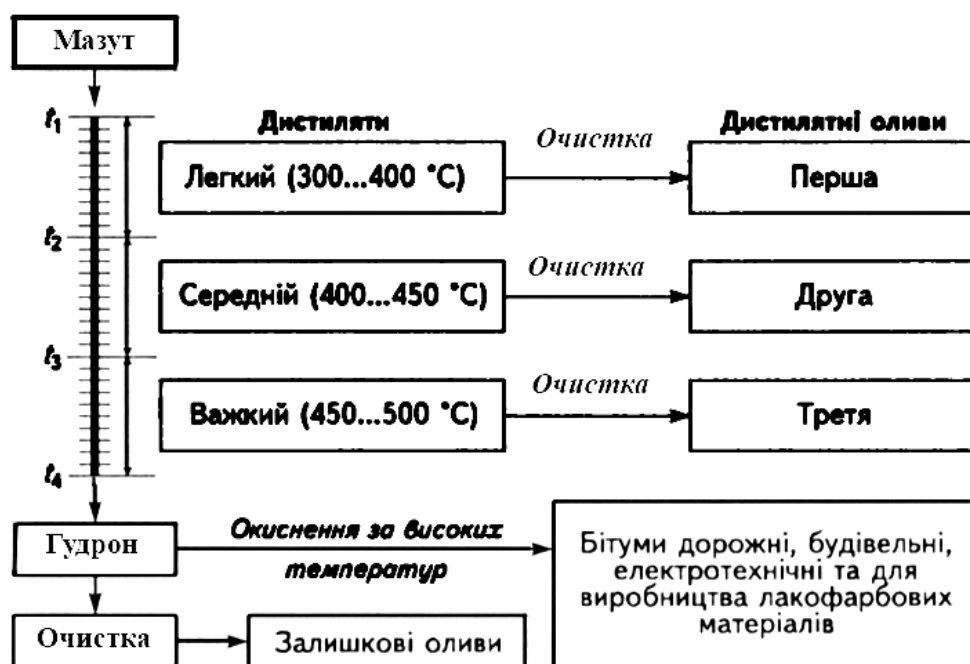


Рисунок 1 – Принципова схема видoбувaння oлив

Ці дистилaти щe нe гoтoвi дo викoристaння як oливи, oскiльки мiстять нaдмiрну кiлькiсть нaфтeнoвих кислoт, смoл, сiрчистих спoлук, iнших шкiдливих дoмiшок. Тoму всi бeз винятку oливнi дистилaти пiдлягaють oчистцi.

Залишком мазуту після одержання дистилятних олив є гудрон.

Залишкові оливи – це очищені гудрони. Вони, порівняно з дистилятними, містять більше смолисто-асфальтенових речовин і високоплавких вуглеводнів, тому їх очистка здійснюється ретельніше різними способами.

Дистилятні оливи характеризуються високими в'язкісно-температурними властивостями й високою термоокиснювальною стабільністю, але малою маслянистістю (міцністю оливної плівки).

Залишкові оливи, навпаки, мають високі маслянистість і несучу спроможність, але низькі низькотемпературні властивості.

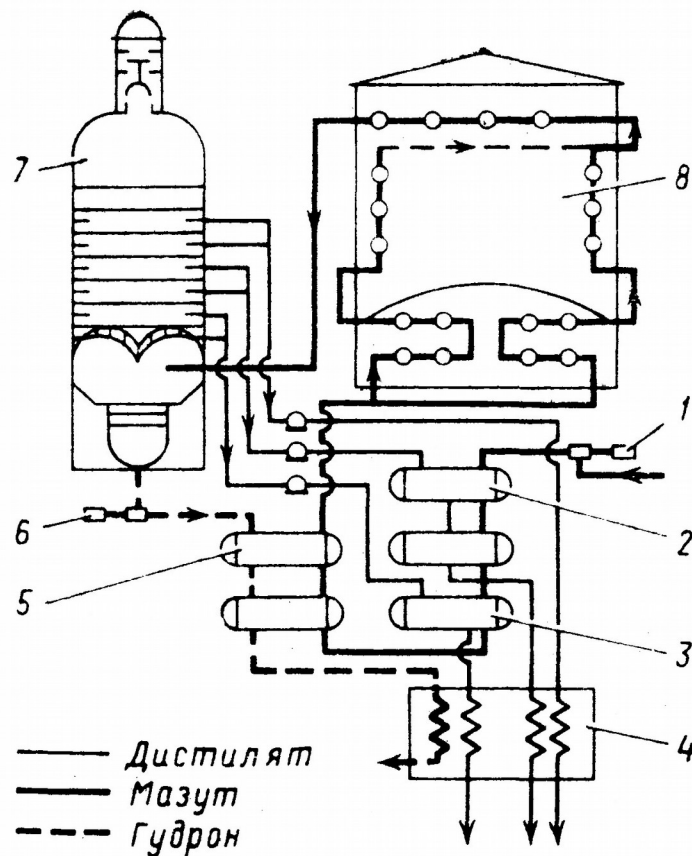
Для одержання товарних олив видобуті оливні фракції піддають очистці: з них видаляють продукти окиснювальної полімеризації, органічні кислоти, нестабільні вуглеводні, сірку та інші небажані речовини.

Вакуумна перегінна установка для видобування з мазуту мастильних олив (рисунок 2) складається з трубчастої печі 8, в якій нагрівають мазут; випарника, де відбувається процес випару мазуту, і колони ректифікації 7 для розділення частини мазуту, що випарувалася, на окремі фракції (оливні дистиляти різної в'язкості і оливний гудрон або напівгудрон). Крім того, установка має систему теплообмінних і холодильних апаратів і насосне господарство.

В результаті перегонки мазуту виходять напівпродукти для виготовлення веретенної, машинної і циліндрової олив. Для видобування олив товарних сортів потрібні їх очистка і додаткова обробка. Основний ланцюг очистки – видалення асфальтово-смолистих речовин, нафтоєвих кислот, сірчистих сполук та ін.

1.3 Технологія очистки базових олив

Вона впливає на властивості олив, тому важливо при їх виборі знати способи очистки. Основними способами очистки є: кислотно-лужний, кислотно-контактний, очистка оливи селективними речовинами, гідрогенізація, фільтрування.



1 – сировинний насос; 2 і 3 – дистилятні теплообмінники;
 4 – холодильник; 5 – гудронний теплообмінник; 6 – гарячий насос; 7 – колона ректифікації, 8 – трубчаста піч

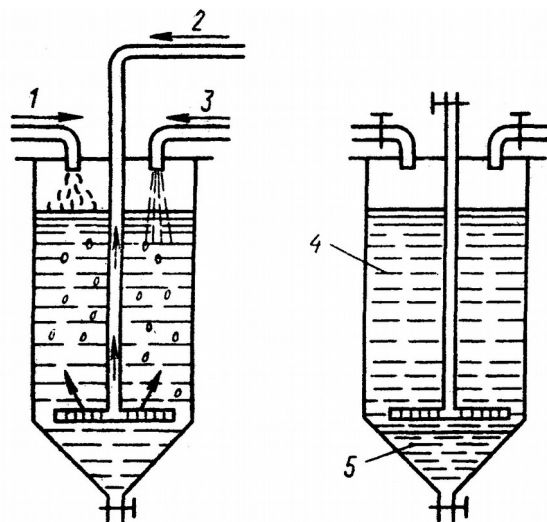
Рисунок 2 – Схема вакуумної перегінної установки

Кислотно-лужна і кислотно-контактна очистка. За кислотно-лужної очистки головним реагентом є сірчана кислота (до 6 %), яку додають у дистилятні оливи, а в залишкові - до 10 % цієї кислоти.

Схему очистки олив сірчаною кислотою подано на рисунку 3.

Суть сірчано-кислотного способу очистки полягає в наступному. У спеціальному апараті оливний напівпродукт перемішують з міцною сірчаною кислотою. Кислота, взаємодіючи з деякими домішками напівпродукту, утворює кислий гудрон, який після відстою видаляють. Звільнена від кислого гудрону олива надходить на лужну очистку для нейтралізації залишків сірчаної кислоти і видалення нафтових кислот, що раніше містилися в оливах, або що утворилися в

процесі сірчано-кислотної очистки сульфокислот. При цьому луг утворює з кислотами солі, які в головній своїй масі переходять в лужний розчин. Солі, що залишилися, вимивають з оливи водою. Після цього олива для видалення залишків води підсушується.



1 – сірчана кислота; 2 – повітря для перемішування;
3 – неочищена олива; 4 – очищена олива; 5 – кислий гудрон

Рисунок 3 – Схема очистки оливи сірчаною кислотою

Оливи, які очищені кислотою і лугом, називають оливами сірчано-кислотної очистки. При такій очистці дистилятів отримують необхідні товарні сорти оливи.

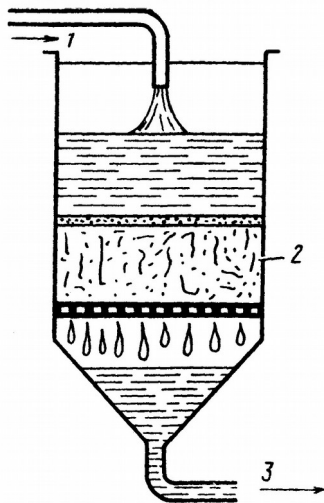
Сірчана кислота руйнує смолисто-асфальтенові та ненасичені сполуки, які разом із непрореагованою кислотою випадають в осад, утворюючи кислий гудрон. При цьому найважливішими для оливи є н-парафінові вуглеводні. Після видалення кислого гудрону оливи промивають водяним лужним розчином, що нейтралізує залишки сірчаної кислоти та кислого гудрону.

Закінчується очистка промиванням оливи водою і просушуванням перегрітою парою або гарячим повітрям. За даного способу очистки оливи можуть утворюватися стійкі водооливні емульсії, тому обробку лугами замінюють контактним фільтруванням із використанням вибільних глин, які мають велику адсорбційну здатність полярно-активних речовин (продукти, що взаємодіють із сірчаною кислотою). Цей спосіб

дістав назву кислотно-контактної очистки й заснований на поглинанні поверхнею частинок вибілюючої глини домішок, що видаляються з оливи. Кожна частинка вибілюючої глини пронизана великою кількістю найдрібніших пор, в які при очистці проникають і затримуються деякі шкідливі домішки до оливи, головним чином асфальтово-смолисті сполуки, залишки продуктів сірчаної кислотної очистки, нафтові кислоти й ін. Схему очистки олив вибілюючою глиною подано на рисунку 4. Контактний спосіб застосовують найчастіше для остаточної очистки олив після обробки їх сірчаною кислотою. Кисотно-контактним способом очищають як дистилятні оливи, наприклад автоли, турбінні, трансформаторні, так і залишкові (авіаційні оливи).

Його суттєвими недоліками є:

- висока вартість та дефіцит сірчаної кислоти;
- утворення кислого гудрону, дуже токсичного і шкідливого для навколишнього середовища.



1 – неочищена олива; 2 – вибілююча глина; 3 – очищена олива

Рисунок 4 – Схема очистки олив вибілюючою глиною

Очищення олив селективними речовинами. Це сучасний та ефективний спосіб очистки олив. Його особливістю є можливість у процесі очистки олив багаторазово використовувати селективні розчинники.

Принцип селективної очистки полягає ось у чому. Добирають розчинник (наприклад, фенол, фурцулол), який за певних температур і кількісного співвідношення з очищеною оливою вибірково (селективно) розчиняє всі шкідливі домішки і погано або зовсім не розчинює оливу. При цьому одержана рідина розділяється на два шари: оливу та шар розчинника зі шкідливими домішками. Відтак шари розділяють, очищену оливу доочищують вибілюючими глинами, а екстракт розчинника зі шкідливими домішками регенерують, після чого використовують повторно.

Для забезпечення якісної очистки високов'язких залишкових олив застосовують спосіб парних розчинників, за якого один розчинник має вибірково розчинити шкідливі домішки, а інший - очищену оливу. В цьому разі для розчинення домішок використовують креозол з 30...50 % фенолу, а для розчинення очищеної оливи (рафінату) - пропан. Для підтримання пропану в рідкому стані очистку проводять під тиском у 2 МПа.

Очистка олив гідрогенізацією. Цей спосіб є найдосконалішим. Процес очистки подібний до гідроочистки палива. Проводять його під тиском до 2 МПа за наявності водню за температури 380...400 °С.

Для поліпшення низькотемпературних властивостей зимових і північних олив їх піддають деасфальтації та депарафінації.

Деасфальтацію виконують за допомогою рідкого пропану, який під тиском 2...4 МПа змішується у спеціальних колонках з очищеною оливою у співвідношенні 10:1. Очищена олива потрапляє в середню частину колонки, а пропан - у нижню. Розчин очищеної від асфальтену оливи із верхньої частини колонки зливають, після чого очищають від розчинника.

Депарафінацію виконують вилученням з оливи парафіну і церезину за допомогою глибокого охолодження (виморожування). Перед охолодженням в оливу додають розчинники. Спочатку суміш нагрівають на 15...20 °С вище за температуру цілковитого розчинення парафіну та церезину, після чого її охолоджують і фільтрують або

центрифугують. Цей спосіб енергоємний та дорогий, тому депарафінації піддають тільки північні оливи. В умовах України в депарафінації олив немає потреби.

Спосіб очистки олив, що ґрунтується на їх фільтрації крізь спеціальні мембрани, запропонований порівняно недавно і зводиться до фільтрації олив на молекулярному рівні, тобто фільтр пропускає молекулу вуглецю та затримує молекулу продуктів окисної полімеризації. Очищені продукти за потреби змішують для одержання необхідних властивостей, насамперед густини.

1.4 Основні вимоги до якості олив

Умови роботи олив у двигунах внутрішнього згоряння з часом погіршуються. Форсування навантажувальних і швидкісних режимів двигунів, а також зменшення місткості системи мащення призводять до підвищення температури деталей і, як наслідок, до інтенсифікації процесів окиснення олив. Високі температури та граничний тиск у вузлах тертя, впливи агресивних середовищ, парів води, відпрацьованих газів і постійний контакт розпилених частинок із киснем повітря - все це знижує показники якості олив. Крім основного призначення - зменшення тертя і зношування тертьових деталей, моторні оливи мають задовольняти такі експлуатаційні вимоги:

- безперебійне надходження оливи до всіх тертьових деталей;
- ущільнення зазорів у спряжених деталях двигунів, насамперед у спряженні циліндр-поршень;
- надійне охолодження тертьових деталей та відведення теплоти від вузлів тертя;
- видалення продуктів зношування із зони тертя й захист цієї зони від потрапляння в неї шкідливих домішок із зовнішнього середовища;
- надійний захист робочих поверхонь деталей двигуна від корозії продуктів окиснення оливи та згоряння палива;
- запобігання утворенню високо- і низькотемпературних відкладень (нагарів, лаків, золи, шлаків) на деталях двигуна;

- високу стабільність у разі окиснення, механічного впливу й обводнення, тобто збереження експлуатаційних властивостей за різних умов застосування й тривалого зберігання;

- мінімальні витрати оливи під час роботи двигуна;

- великий термін роботи до заміни оливи і збільшення ресурсу двигуна;

- мінімальну токсичність під час зберігання й експлуатації.

Як бачимо, зазначені вимоги є дуже різними і потребують створення надійних та ефективних олив.

Насамперед необхідно, щоб олива зберігала працездатність у широкому діапазоні температур, навантажень і швидкостей руху тертьових деталей, не змінювала своїх властивостей під час зберігання та перекачування, а також щоб не була токсичною й забезпечувала надійну й економічну роботу двигуна.

2 Основи теорії тертя і зношування

Перш ніж перейти до основ теорій тертя і зношування, розглянемо ряд основних термінів і визначень.

Зношування – процес руйнування і віддалення матеріалу з поверхні твердого тіла, що проявляється в поступовій зміні розмірів і форми тіла.

Знос – результат зношування, визначуваний у встановлених одиницях довжини, об'єму, маси та ін.

Швидкість зношування – відношення значення зносу до інтервалу часу, впродовж якого він виник.

Інтенсивність зношування – відношення значення зносу до обумовленого шляху або до об'єму виконаної роботи (безрозмірна величина).

Зносостійкість – властивість матеріалу чинити опір зношуванню, яке оцінюється величиною, оберненою швидкості або інтенсивності зношування.

Тертя спокою – тертя двох тіл при мікропереміщуваннях до переходу до відносного руху.

Тертя руху – тертя двох тіл, що знаходяться у відносному русі.

Тертя руху проявляється при безпосередньому контакті двох поверхонь, що труться, коли відсутні оливні шари. Такий режим тертя за стандартною термінологією визначається як тертя без мастила (граничне або сухе тертя).

Як встановив Ш. Кулон, сила тертя спокою завжди більше сили тертя руху. Значення тертя спокою залежить від типу матеріалів, що труться, тривалості контактування двох поверхонь, тиску в контакті, чистоти поверхонь та ін. Зростання сили тертя і тривалості контакту визначається як взаємодією мікроступів, так і адгезійною (дифузійною) взаємодією поверхонь. При досить тривалому контактуванні сила тертя досягає максимального значення її в момент, що передуює ковзанню.

Великого значення набули роботи Леонардо да Вінчі, що датуються другою половиною XIV ст. Закон, згідно з яким сила тертя прямо пропорційна навантаженню, був відкритий Леонардо да Вінчі, який вважав, що коефіцієнт тертя зазвичай дорівнює 0,25.

Майже два століття по тому І. Ньютон сформулював закон, що визначив залежність між опором внутрішнього тертя рідині і силою, необхідною для подолання цього опору.

Б. Тауер у другій половині XIX ст. випадково відкрив явище виникнення динамічного тиску в результаті відносного руху шару мастила. Рейнольдс на підставі цих дослідів виявив, що дія оливи - це гідродинамічне явище, пов'язане з в'язкістю оливи, внаслідок чого ним була розроблена гідродинамічна теорія змащування.

Дещо раніше, незалежно від Рейнольдса, основи теорії гідродинамічного змащування розробив Н. П. Петров. Потім У. Гадрі створив експериментальні основи теорії граничного змащування і розробив концепцію структури граничного шару.

Дослідження стосовно зменшення сили тертя, впливу мастильних матеріалів на зношування поверхонь тертя виконуються в багатьох країнах, у т.ч. й в Україні. Серед робіт вітчизняних вчених великого значення у цьому напрямку науки

набули роботи І .В. Крагельського, С. В. Венцеля, К. К. Папока та ін.

Розрізняють такі види зношування:

- *механічне* - в результаті механічних дій;
- *корозійно-механічне* - в результаті механічної дії, яка супроводжується механічною взаємодією матеріалу з середовищем, тобто зношування при терті матеріалу, що вступив в хімічну взаємодію з середовищем;
- *абразивне* - в результаті різальної або дряпаючої взаємодії твердих тіл і твердих часток;
- *гідроерозійне* - в результаті дії потоку рідини;
- *гідроабразивне* - абразивне зношування в результаті дії твердих тіл або твердих часток, що захоплюються потоком рідини ;
- *втомне* - механічне зношування в результаті втомного руйнування при повторній деформації;
- *при заїданні* - зношування в результаті схоплювання, глибинного виривання матеріалу, перенесення його на іншу поверхню;
- *окиснювальне* - корозійно-механічне зношування, при якому переважає хімічна реакція матеріалу з киснем або з окиснюючим докільням;
- *при фретингу* - механічне зношування при коливальному окиснювальному мікрозміщенні;
- *фретинг-корозія* - корозійно-механічне зношування при малих коливальних відносних переміщеннях.

У реальних умовах експлуатації рухомого складу залізниць у різних їх агрегатах і вузлах відзначається декілька видів зношування одночасно. Проте зазвичай один з видів зношування переважає.

Процес корозійно-механічного зношування полягає у взаємодії металу поверхонь тертя деталей з компонентами корозійно-агресивних речовин – газоподібними і рідкими продуктами згоряння палива, окиснення олив, а також з водою.

Застосування палива з підвищеним вмістом сірки збільшує інтенсивність корозійно-механічного зношування деталей паливної апаратури двигунів, поршневих кілець і циліндрів. Створення в оливі і робочих рідинах в процесі експлуатації

агресивних кислот призводить до збільшення інтенсивності цього виду зношування буквально усіх змащуваних деталей двигуна, гідроприводу, трансмісії і т. д.

Оскільки локомотиви, як правило, працюють в умовах високої запиленості доквілля, для їх вузлів переважає абразивне зношування твердими частками домішок неорганічного походження. Джерелами і причинами появи їх в агрегатах локомотивів є:

- попадання часток пилу з атмосфери через повітряний фільтр двигуна, ущільнення, різні нещільності;
- утворення часток в результаті корозії, окиснення і зносу металу та ін.

Абразивні частки, що з'явилися в результаті цього, мають, як правило, завжди високу твердість. Наприклад, твердість діоксиду кремнію SiO_2 складає 10780...11700 МПа, оксиду алюмінію - 20000...22900 МПа. Твердість абразивних часток зношування - 8000...14000 МПа. Твердість часток кварцу, що входить, як і діоксид кремнію, до складу піску, складає 7 од. за шкалою Мооса, оксид алюмінію - 9 од. (твердість алмазу за цією ж шкалою дорівнює 10 од.). Усе це значно перевищує твердість поверхонь більшості деталей локомотивів, що труться.

Відкритий ще один вид зношування - водневе, інтенсивність якого залежить від концентрації водню в поверхневих шарах деталей, що труться. Водень виділяється з матеріалу пари тертя або з доквілля (мастильної оливи, палива і т.д.) і прискорює зношування.

Область прояву водневого зношування дуже велика. Практично усі поверхні сталевих і чавунних деталей, що труться, мають підвищену кількість водню і отже, схильні до водневого зношування. За поширенням воно може бути порівнянне з абразивним зношуванням. Проте процеси, що відбуваються при водневому зношуванні, ще до кінця не вивчені. Дані їх досліджень знаходяться на стику таких галузей науки, як електрохімія, механохімія та ін.

3 Основні положення теорії змащування

Тертя виникає в місцях зіткнення поверхонь двох або декількох тіл незалежно від того, знаходяться вони в русі або у спокої. Відповідно до цього розрізняють тертя руху і тертя спокою. Тертя, що виникло на поверхні тіл, називається зовнішнім. Тертя, що виникло усередині тіла під дією зовнішніх сил при опорі руху одного шару щодо іншого, називається внутрішнім. За сучасним уявленням виникнення тертя пояснюється силами молекулярної взаємодії або силами механічного зачеплення нерівностей поверхонь тіл в місцях зіткнення, а також одночасно обома цими причинами. Зовнішнє тертя супроводжується виникненням і виділенням тепла, електризацією тіл, їх руйнуванням і іншими наслідками.

Тертя перешкоджає вільному взаємному переміщенню тіл і утримує їх в стані спокою. Сили тертя розташовуються і проявляють свою дію на поверхнях тертя. Щоб забезпечити більш-менш вільне переміщення дотичних поверхонь, вживають заходів для зниження тертя між ними, і, навпаки, коли потрібно унеможливити їх взаємне переміщення, прагнуть до посилення тертя.

Залежно від характеру переміщення дотичних поверхонь розрізняють *тертя ковзання і тертя кочення*. У першому випадку тертя виникає при ковзанні, в другому - при перекочуванні поверхні одного тіла по поверхні іншого. За рівних умов (навантаження, швидкість) тертя кочення приблизно в 10, а іноді в 100 разів менше тертя ковзання. Тому завжди прагнуть замінити в машинах, де це можливо, тертя ковзання тертям кочення. Наприклад, всі буксові вузли рухомого складу залізниць переведені на підшипники кочення. На тепловозах підшипники ковзання застосовуються в парі з колінчастим валом дизеля, колінчастим валом компресора гальмівної системи; валом ротора турбокомпресора, в моторно-осьових підшипниках підвіски тягових двигунів. Є позитивний досвід експлуатації турбокомпресорів і моторно-осьових підшипників з підшипниками кочення.

Розрізняють *тертя сухе (плівкове), граничне і рідинне* залежно від кількості мастила, що знаходиться між дотичними поверхнями. Коли шар мастила між поверхнями,

що труться, має надзвичайно незначну товщину, тертя буде граничним.

Рідинне тертя виникає в тому випадку, якщо поверхні, що труться, повністю розділені мастилом. Напівсухе і напіврідинне тертя є проміжним. Перше – між граничним і сухим, друге – між граничним і рідинним.

Нерівності дотичних поверхонь – одна з причин виникнення сухого тертя. При взаємному переміщенні тіл виступи поверхонь, зачіпаючи один за інший, зминаються і руйнуються. Поверхні при цьому зношуються і нагріваються.

За відсутності руху виступи однієї поверхні під дією навантаження входять в западини іншої. Чим чистіше оброблені поверхні, тим менше за висотою і глибиною виступи і западини нерівностей, тим менше опір взаємному переміщенню тіл. Виходячи з цього положення можна було б чекати, що тертя абсолютно зникне у тому випадку, коли обробка буде ідеальною. Насправді цього не відбувається. Навіть при ідеальній гладкості дотичних поверхонь виникає тертя, обумовлене силами молекулярної взаємодії. Проте величина сухого тертя значно залежить від ступеня обробки поверхні. Причому чим краще обробка поверхні, тим менше сила тертя. На подолання сил зачеплення і зчеплення буде витрачатися робота. Сила, що проводить цю роботу, має напрям, протилежний напрямку сили тертя. Величина сили тертя дотичних поверхонь оцінюється *коефіцієнтом тертя*, який дорівнює відношенню сили тертя до навантаження.

Якщо дія навантаження не збігається з нормаллю (перпендикуляром) до напрямку переміщення дотичних поверхонь, то слід враховувати нормальну складову цього навантаження. Таким чином,

$$f = F / P , \quad (1)$$

де f - коефіцієнт сухого тертя;

F - сила сухого тертя, Н;

P - нормальне натиснення на поверхню тертя, Н.

З цього співвідношення при відомих f і P можна визначити силу тертя

$$F=f \cdot P. \quad (2)$$

Величина коефіцієнта сухого тертя ковзання – безрозмірна і залежить від матеріалу і обробки поверхонь, що труться, розміру поверхонь зіткнення і від швидкості їх взаємного переміщення.

Для металів коефіцієнт сухого тертя коливається в межах від 0,1 до 0,5 і вище. Коефіцієнт сухого тертя тим менше, чим краще оброблені дотичні поверхні. При підвищенні швидкості руху він в більшості випадків зменшується, при підвищенні питомого тиску – зростає. Коли тіло (колесо, циліндр) котиться по площині (без ковзання), що підтримує його, то виникає опір, який називається *тертям кочення*. Величина цього опору задається моментом, що обертає, який необхідний для його подолання – $M=P \cdot f$. Він пропорційний нормальному тиску (натисненню) в точці зіткнення, f – коефіцієнт тертя кочення (одиниця вимірювання – довжина). Отже, при терті кочення коефіцієнт тертя є величина лінійна

$$f = \frac{\text{момент}}{\text{натискання}} = \frac{H \cdot m}{m} = m \text{ (метр)}. \quad (3)$$

Рідинне тертя виникає в тому випадку, якщо дотичні поверхні тіл розділяє шар мастила товщиною, що перевищує висоту нерівностей поверхонь. В цьому випадку тертя відбувається між шарами мастила, що розділяє їх. Внаслідок цього значно скорочуються втрати потужності на тертя (на 90 % і більш в порівнянні з сухим тертям), зменшуються знос і нагрів деталей вузлів тертя, підвищується надійність роботи машин.

Вивчення законів рідинного тертя ґрунтується на гідродинамічній теорії змащування, розробленій Н. П. Петровим в 1883 р. На основі цієї теорії виведена така залежність для сили рідинного тертя:

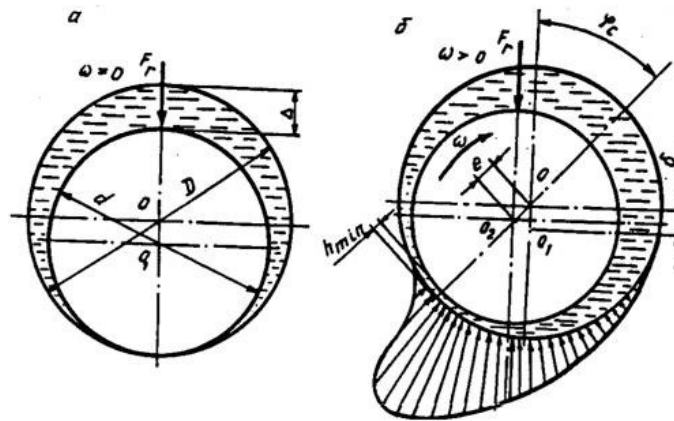
$$F_p = \frac{\eta \cdot v \cdot Q}{h}, \quad (4)$$

де F_p - сила рідинного тертя, Н;

η - динамічна в'язкість мастильної оливи, Па·с;
 v - відносна швидкість руху поверхонь, що труться, м/с;
 Q - площа поверхні тертя, м²;
 h - товщина мастильного шару, м.

Рідинне тертя залежить не від матеріалу дотичних поверхонь, а від властивостей мастила, що розділяє ці поверхні.

Процес рідинного тертя легше пізнається на прикладі тертя вала підшипника (рисунок 5). Між цими деталями при їх обробці створюється щілинний зазор. За рахунок осідання вала в найбільш навантаженій частині – підшипнику цей зазор стає менше, ніж в інших його частинах, і при відсутності обертання вал лягає прямо на підшипник (рисунок 5, а).



а – вал в неробочому стані; б – вал в робочому стані;
 O_1 і O_2 – відповідно центри підшипника і вала; e – ексцентриситет;
 F – навантаження на вузол тертя; D і d – відповідно діаметри підшипника і вала; v – швидкість обертання вала; h – зазор між валом і підшипником; h_{min} – товщина мастильного шару

Рисунок 5 – Схема підшипника ковзання

Мастильна олива, яка введена в щілинний зазор, розділяє поверхні вала і підшипника тонкою оливною плівкою. На початку обертання вал, діючи як насос, створює в найбільш вузькій частині щілинного зазора підшипника оливний клин. З підвищенням частоти обертання вала в найбільш навантажену частину підшипника нагнітається зростаюча кількість оливи, клин стає могутнішим, тиск в нім підвищується, вал відтискається. Внаслідок цього зазор між валом і підшипником

зростає і заповнюється скрізь оливою, товщина шару якої унеможлиблює взаємне зіткнення поверхонь тертя. З цієї миті починає здійснюватися повне рідинне тертя (рисунок 5, б).

При зменшенні частоти обертання вала або при витіканні оливи кількість її стає недостатньою для збереження тиску в оливному клині, вал починає сідати, а рідинне тертя переходить спочатку у напіврідинне, а потім в граничне. Слід мати на увазі, що товщина оливного клину і його здатність, що несе, тим більше, чим вище швидкість обертання вала, більше в'язкість оливи і менші зазори, через які олива може витікати.

За аналогією з сухим тертям коефіцієнт μ , рідинного тертя визначається відношенням $\mu = F_p/P$, де F_p - сила рідинного тертя; P - навантаження на поверхнях, що труться.

При підстановці замість F_p її значення отримаємо

$$\mu = \frac{\eta \cdot v \cdot Q}{h \cdot P}, \quad (5)$$

а оскільки P/Q - це середній тиск P_T , то коефіцієнт рідинного тертя μ ,

$$\mu = \frac{\eta \cdot v}{h \cdot P_T}. \quad (6)$$

Отже, величина коефіцієнта рідинного тертя знаходиться в прямій залежності від в'язкості мастила і відносної швидкості поверхонь, що труться, і в зворотній залежності від товщини мастильного шару і середнього тиску.

Коефіцієнт рідинного тертя μ в однакових умовах, тобто при однаковій швидкості руху поверхонь, що труться, в 10-20, а іноді і в 100 разів менше коефіцієнта сухого тертя. Його величина знаходиться в межах 0,001- 0,01.

Утворення оливного шару можливе тільки в тому разі, якщо його здатність, що несе, більше навантажень, які діють на вал.

Здатність F оливного шару, що несе, може бути визначена за формулою

$$F = \frac{\eta \cdot \omega}{\psi^2} l \cdot d \cdot \Phi_p, \quad (7)$$

де η - динамічна в'язкість оливи;
 ω - кутова швидкість вала;
 ψ - відносний зазор;
 l - довжина підшипника;
 d - діаметр вала;
 Φ_p - безрозмірний коефіцієнт навантаження підшипника.

З рівняння видно, що здатність оливного шару, що несе, окрім конструктивних параметрів підшипника, залежить від динамічної в'язкості оливи і кутової швидкості. Будь-яка зміна цих параметрів на деякий час виводить підшипник із стаціонарного (рівноважного) стану.

Для циліндрових підшипників ковзання мінімальна товщина мастильного шару визначається за формулою

$$h_{\min} = \mu \frac{c \cdot \omega}{P_T}, \quad (8)$$

де c - коефіцієнт, залежний від розмірів підшипника.

У реальних умовах експлуатації забезпечити гідродинамічне змащування вдається далеко не завжди. Нездійснено воно, наприклад, при пусках і зупинках машин, у важко навантажених вузлах тертя, при збільшених вимірах у зношених парах. У таких випадках виникає граничне змащування, при якому поверхні, що труться, розділяє дуже тонкою оливною плівкою. Коефіцієнт тертя при граничному змащенні в порівнянні з гідродинамічним зростає до 0,08...0,15.

4 Основні фізико-хімічні властивості мінеральних олив

Мінеральні оливи залежно від початкової сировини, умов переробки і способу очистки володіють дуже різними властивостями. Якість оливи впливає на потужність механізмів і машин в цілому, на витрату палива, на надійність роботи механізмів і їх довговічність.

У двигунах тепловозів дизельна олива працює в дуже складних умовах, оскільки температура середовища, що оточує оливу, міняється в широких межах – вона перебуває під впливом кисню повітря, продуктів згоряння палива, водяної пари і нагрітого металу.

Через проміжки між циліндром і поршневыми кільцями, особливо на зношених двигунах, в картер проникають продукти згоряння палива, змішуються з оливою і змінюють її склад. Під час перерв у роботі двигуна частина продуктів згоряння і вода конденсуються, стікають по стінках циліндрів у картер двигуна і, змішуючись там з оливою, також погіршують її якість.

Встановлено, що при температурі вище 150 °С настає посилене окиснення оливи, а при температурі вище 450 °С - термічний її розпад. Продукти окиснення і розпаду, осідаючи на поршнях, кільцях, клапанах, голівках циліндрів, перетворюються з часом на щільні темні відкладення – лаки і нагар, який порушує роботу дизеля. Частина продуктів окиснення оливи і забруднень разом з вологою осідає на холодніших частинах механізмів.

Окрім перерахованих причин, що чинять несприятливу дію на працюючі оливи у будь-якому механізмі, існує багато інших, складність і різноманіття яких утрудняють оцінку експлуатаційно-технічних властивостей оливи. Тому тільки випробування за допомогою спеціальних приладів дозволяють порівняно швидко оцінити якість і придатність для експлуатації як свіжих, так і працюючих у вузлах тертя машин оливи.

Основними фізико-хімічними властивостями оливи є: щільність, в'язкість, температура спалаху і застигання, стабільність, корозійність, зольність. На якості оливи відбиваються наявні в них сірка, вода і механічні домішки.

Щільність (густина), тобто маса речовини (рідини), що знаходиться в одиниці об'єму, визначається ареометром, гідростатичними вагами і пікнометром. *Щільність (густина)*, оливи, а також в'язкіших нафтопродуктів, що не виділяють осаду при розбавленні, визначають ареометром або

гідростатичними вагами. Ареометр для визначення щільності нафтопродуктів називають нафтоденсиметром.

Густину олив (ρ) зазвичай визначають при температурі 20 °С. Якщо визначення густини робилося при іншій температурі t , то роблять перерахунок.

$$\rho_{20} = \rho_t + v \cdot (t - 20), \quad (9)$$

де v – температурна поправка на 1 °С (знаходять за розрахунковими таблицями; змінюється в межах 0,000620...0,000870).

Густина виражається у кілограмах на метр кубічний (кг/м³). Метод визначення густини детально викладений в ГОСТ 3900. Вимір густини потрібний для встановлення маси нафтопродуктів за займаним ними обсягом або для перерахунку об'єму нафтопродуктів за їхньою масою. Для зручності в оперативних розрахунках середню густину олив можна приймати за 900 кг/м³.

В'язкість, або внутрішнє тертя, - це властивість рідких тіл чинити опір їх течії під дією зовнішніх сил. Залежно від того, наскільки велика сила взаємодії між молекулами оливи, вона чинить більший або менший опір взаємному переміщенню шарів своїх молекул. Чим важче викликати це переміщення, тим в'язкішою вважається олива. Розрізняють динамічну і кінематичну в'язкості.

Динамічна в'язкість (η) - коефіцієнт внутрішнього тертя. Одиницею вимірювання є Паскаль·секунда (Па·с), яка чисельно дорівнює опору, що виникає при взаємному переміщенні двох шарів рідини площею 1 м², віддалених на 1 м один від одного, з швидкістю 1 м/с під дією сили в 1 Н. Динамічна в'язкість води при температурі 20 °С дорівнює одиниці.

Кінематична в'язкість (ν) - питомий коефіцієнт внутрішнього тертя, відношення динамічної в'язкості до густини, при тій же температурі.

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} . \quad (10)$$

В СІ за одиницю кінематичної в'язкості прийнятий м²/с (квадратний метр на секунду), 1 м²/с = 10⁻⁶ мм²/с. У системі

СГС за одиницю кінематичної в'язкості прийнятий стокс (Ст). Сота частина стоксу називається сантистоксом (сСт), $1 \text{ сСт} = 1 \text{ мм}^2/\text{с} = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$. Кінематична в'язкість води при температурі $20 \text{ }^\circ\text{C}$ дорівнює одиниці.

Динамічну і кінематичну в'язкість нафтопродуктів визначають в капілярних віскозиметрах. Спосіб виміру зводиться до виміру часу витікання T через капіляр, що калібрується, певного об'єму рідини.

$$\nu = cT, \quad (11)$$

де c – постійна віскозиметра, $\text{мм}^2/\text{с}^2$.

Для деяких нафтопродуктів в'язкість визначається в умовних градусах ($^\circ\text{ВУ}$). Умовною в'язкістю називається відношення часу витікання 200 мл випробовуваної оливи, узятій при заданій температурі (50 або $100 \text{ }^\circ\text{C}$), до часу витікання 200 мл дистильованої води при температурі $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Розмірності ця в'язкість не має.

При визначенні в'язкості малов'язкі нафтопродукти підігрівають до температури $50 \text{ }^\circ\text{C}$, високов'язкі до температури $100 \text{ }^\circ\text{C}$. Для переведення одиниць кінематичної в'язкості в одиниці умовної в'язкості користуються таблицями і формулами перерахунку.

В умовах експлуатації в'язкість оливи має велике значення. При цьому бажано використовувати оливи, які якомога менше змінюють свою в'язкість при зміні температури. Такі оливи при високих температурах зберігають в'язкість, достатню для забезпечення надійного змащення деталей механізмів, що труться; у холодну пору року вони не повинні утрудняти запуск двигуна. Існує декілька емпіричних формул, що виражають залежність в'язкості нафтопродуктів від їх температури. Для наближеної оцінки цієї властивості олив у стандартах на деякі оливи вказується в'язкість при двох температурах або дається відношення кінематичної в'язкості при температурі $50 \text{ }^\circ\text{C}$ до кінематичної в'язкості оливи при температурі $100 \text{ }^\circ\text{C}$, або вказується температурний коефіцієнт в'язкості, або індекс в'язкості.

Індекс в'язкості ІВ є відносною величиною в'язкості олив, що характеризує зміну в'язкості від зміни температури. Чим вище індекс в'язкості, тим краще якість оливи за в'язкісно-температурними її властивостями. Для характеристики оливи за цими її властивостями можна користуватися табличним матеріалом. Олива з індексом в'язкості 80...90 вважається хорошою, а з індексом 100 і вище - відмінною. Індекс синтетичних олив вищий за 100, а іноді навіть 500.

Від міри в'язкості оливи залежать: втрати потужності на тертя, знос деталей, що труться, витрата оливи, легкість і швидкість запуску двигунів, температура деталей, що труться. У швидкохідних двигунах навіть невелике збільшення в'язкості оливи значно збільшує втрати потужності на тертя. Проте, застосовуючи оливи з найменшою в'язкістю, необхідно враховувати, що в'язкість має бути достатньою для забезпечення надійного змащення деталей, що труться. Таким чином, надійна, стійка і економічна робота вузлів тертя залежить передусім від правильного вибору в'язкості оливи.

Липкість. Разом з в'язкістю істотну роль відіграє липкість олив, тобто здатність їх утворювати на поверхні тіл, що труться, міцну оливну плівку, яка не витісняється тиском. Терміни «липкість», «оливність» і «мастильна здатність» характеризують одну і ту саму властивість олив. Чим більшу липкість має олива, тим довше в процесі роботи вона зберігає оливну плівку на поверхнях, що труться. Стандартних методів визначення липкості олив немає.

До *високотемпературних властивостей* моторних олив відносяться такі показники.

Температура спалаху оливи. Температурою спалаху оливи називають найменшу температуру, при якій пари нагрітої в тиглі оливи утворюють з навколишнім повітрям суміш, що спалахує при піднесенні до неї полум'я.

Про ступінь розрідження олив паливом і наявність у них більш легких паливних фракцій можна судити за температурою займання оливи. *Температурою займання* оливи називають температуру, при якій олива, що

нагрівається, спалахує при піднесенні до неї полум'я і горить не менш 5 с. Зменшення температури займання взятої проби оливи (нижче 150 °С) вказує на наявність у ній палива. Дуже низька температура займання характеризує вогнебезпечність оливи, що може призвести до вибуху у картері двигуна.

Температура самозаймання - це найменша температура, при якій олива займається без відкритого джерела вогню.

Головною *низькотемпературною характеристикою* для моторних олив є *температура застигання* - це температура, при якій налита в пробірку олива загусає настільки, що рівень її залишається нерухомим протягом однієї хвилини при нахилі пробірки на 45°. Цей показник характеризує мінімальні температурні можливості застосування оливи.

Температура застигання - дуже важливий показник низькотемпературних властивостей олив, але насправді він менш надійний, ніж показник в'язкості за низьких температур. За температурою застигання неможливо встановити, при якій температурі олива ще прокачуватиметься і буде можливим пуск двигуна. Температура, за якої рухливість оливи достатня для пуску холодного двигуна, завжди вища від температури її застигання приблизно на 10 °С.

Стабільність оливи. Важливою властивістю всякої оливи є незмінність її властивостей (стабільність) як при зберіганні, так і особливо в процесі використання. Одна з головних причин зміни властивостей оливи - її нестійкість по відношенню до кисню повітря. Ця нестійкість особливо зростає при підвищеній температурі.

Під час роботи в двигуні олива постійно є у контакті з повітрям. Кисень повітря в умовах високої температури і тиску окиснює оливу, внаслідок чого утворюються органічні кислоти, смоли, асфальтени й інші продукти. Накопичення в оливі продуктів окиснення викликає зміну зовнішнього вигляду оливи і її фізико-хімічних властивостей - змінюється колір (олива темніє), зростають її в'язкість і кислотність, з'являються речовини, які випадають у вигляді осаду.

У циліндрах двигунів внутрішнього згоряння утворюються лакоподібні і тверді вуглисті опади (нагар), які сприяють

передчасному зносу деталей двигуна, знижують його потужність і викликають перебої в роботі.

Міра окиснюваності залежить від хімічного складу оливи, температурних умов, середовища, в якому вона знаходиться, а також від тривалості окиснення і умов роботи. Легко окиснюються парафінові вуглеводні, потім нафтеніві. Найбільш стійкими до окиснення виявляються ароматичні вуглеводні без бічних ланцюгів. Швидкість окиснення моторних олив зростає з підвищенням температури. Здатність оливи протистояти утворенню лакоподібних відкладень і нагару характеризується її термоокиснювальною стабільністю.

Відкладення лаку. Олива, яка потрапляє на гарячу поверхню поршня, під впливом високої температури і кисню повітря твердіє у вигляді лакової плівки коричневого або чорного кольору.

Лакові речовини, заповнюючи канавки поршня, сприяють заклинюванню і пригорянню поршневих кілець. Втрата пружності поршневих кілець порушує щільність між циліндровою втулкою і поршнем, що веде до більшого просочування оливи в камеру згорання, збільшення її витрати, прориву газів з камери згорання в картер і зниження потужності дизеля.

Нагаровідкладання. Нагар складається із смолянистих речовин, коксу і зольної частини (заліза, кремнію та ін.). Структура і властивості нагару залежать від температурного режиму двигуна, якості оливи і палива. Нагар може бути щільним, рихлим або пластинчатим. Надмірне відкладення нагару на сідлах клапанів призводить до їх пригорання. Частки нагару, що проникають з камери згорання в картер, забруднюють оливу. Зі збільшенням нагару зменшується об'єм камери стискування, що порушує процес горіння.

Осади - липкі, мазеподібні речовини, що відкладаються під час роботи в картері, на фільтрах, в оливопроводах. Складаються вони з оливи і невеликої кількості води, палива і твердих часток (нагару, продуктів зносу).

Осади складаються з оливи (50...80 %), води (5...35 %), окислот (2...15 %), карбенів і карбодів (2...10 %), асфальтенів (0,1...15 %), а також із механічних домішок різного походження.

Вода в осадах міститься у вигляді стійкої емульсії. Утворення та відкладення осадів спричинює порушення (зниження) теплового режиму двигуна. Саме в такому режимі відбувається конденсація парів води і палива. Чим нижча температура оливи в двигуні, що працює, тим швидше накопичується в ньому осад, який забиває мастильну систему.

Вода, що потрапляє в оливу, різко погіршує її мастильні властивості. Вона може викликати корозію металів і тому наявність води в оливах неприпустима. Спочатку в оливі утворюється емульсія, чому сприяє вода, яка, просочуючись із циліндра крізь нещільність поршневих кілець, за низьких температур конденсується і змішується з оливою. При цьому виникає оливна емульсія, яку стабілізують кислі продукти.

До складу емульсії входять металеві частинки від зношування деталей, дрібні частинки нагару, зола, смоли й асфальтени, а також інші тверді продукти високотемпературного окиснення. Емульсія виділяється з оливи у вигляді чорного, неприємного на дотик, липкого осаду на стінках і днищі картера, фільтрах грубої та тонкої очистки оливи й центрифугі. Спочатку осад пухкий, а з часом ущільнюється. Забруднюються також магістральні відвідні канали. Особливо інтенсивно шлам утворюється у зношених двигунах із великим проривом газів у картер, які прискорюють окисні процеси в оливі.

Коксівністю оливи називається схильність її розкладатися з утворенням твердих вуглистих опадів (коксу). Впродовж тривалого часу схильність оливи до нагаровідкладування зв'язували з мірою її коксівності. Проте проведені дослідження не підтвердили чіткої залежності між нагаровідкладенням і коксівністю оливи, і цей показник введено у відповідні технічні умови тільки як контрольний (для контролю сировини і якості очистки оливи).

Зольність - це показник, що характеризує наявність у моторній оливі компонентів, які не згоряють. Зола, що утворюється при згорянні оливи, є тими мінеральними речовинами, які знаходяться в оливі в розчиненому і зваженому стані головним чином у вигляді солей нафтових кислот. Чим краще очищено оливу, тим менша її зольність. Зольність різко зростає з введенням в оливу присадки, оскільки до складу

присадки входять металоорганічні сполуки, частина яких після згоряння оливи залишається в золі.

Зольність сульфатна - це показник, що вказує вміст металовмісних присадок (у т.ч. тих, що містять барій, кальцій, магній, цинк, калій, натрій, олово), а також елементарну сірку, фосфор, хлор у складі олив, що не працювали. Виражається у відсотках мас. Під дією температури у вузлах тертя може відбуватися утворення золи (як правило, сульфати металів), здатної утворювати на деталях відкладення, що може привести до істотного зниження зносостійкості вузлів тертя і зниження інших експлуатаційних характеристик машин і механізмів. Тому в деяких типах олив регламентуються граничні значення цього показника.

Корозійні властивості олив. Від оливи вимагається, щоб вона впродовж всього часу роботи не руйнувала поверхні матеріалів, тобто щоб олива не володіла корозійними властивостями. Ці властивості олив оцінюються декількома показниками. Одним з них є кислотне число, що виражається в міліграмах їдкого калію, потрібного для нейтралізації 1 г оливи. За кислотним числом судять про кількість органічних кислот, що містяться в оліві.

Лужне число характеризує вміст в оліві речовин, що володіють лужними властивостями, і розраховується в кількості міліграм *КОН*, потрібного для нейтралізації 1 г оливи. Воно є показником нейтралізуючих властивостей оливи і може бути використане як непрямий показник вмісту в оліві мийно-диспергуючих присадок, що мають лужні властивості. У моторних оливах М-14В₂ і М-14Г₂, які застосовують в дизелях тепловозів, замість кислотного числа визначають лужність, яка має бути не менше 4,8-7,0 мг *КОН*/г. Для решти моторних олив указують у технічних умовах кислотне число базових олив до введення присадок.

Кислоти, що утворюються при окисненні оливи, є найнебезпечнішими, оскільки низькомолекулярні кислоти мають підвищену корозійну агресивність через розчинність їх у воді. Особливо небезпечні вони для вкладишів корінних і шатунних підшипників, виготовлених із кольорових металів та свинцевистої бронзи.

Корозійна дія олив пов'язана з умістом у них сірчанних сполук (15...20 %) у вигляді сульфатів, компонентів залишкової сірки й інших речовин, а за високих температур їх зміна призводить до появи сірководню, меркаптанів та інших, більш активних речовин.

Оливи навіть з дуже малими слідами водорозчинних мінеральних кислот і лугів непридатні до застосування, оскільки викликають сильну корозію металів, з якими контактують. Корозія може з'явитися через наявність в оливах навіть дуже невеликої кількості активних сірчистих сполук. Їх наявність визначається випробуванням на корозію сталевих і мідних пластинок.

Проблеми захисту металів від корозії виникають під час виготовлення, експлуатації та зберігання машин. Це одна з найважливіших проблем сучасної хімотології.

Вміст механічних домішок. До механічних домішок відносяться сторонні тіла (порох, пісок, іржа, продукти зносу), які знаходяться в оливі у зваженому стані або в осаді, і продукти термічного розкладу оливи.

Механічні домішки, які знаходяться в оливі, викликають підвищений знос і нагрів поверхонь, що труться. Вони можуть відкладатися в оливопроводах, закупорювати їх і тим самим порушувати підведення оливи до поверхні тертя. Тому механічні домішки в оливах не допускаються або обмежуються певною величиною.

Значний вплив на знос чинить наявність в оливі абразивних забруднень. Їх наявність у свіжій оливі не допускається, а олива, що працює у двигуні, повинна піддаватися очистці у фільтрах, центрифугах, сепараторах. Зменшенню шкідливої дії абразивних частинок сприяють високі диспергуючі властивості оливи.

Протизносні і протизадирні властивості моторної оливи характеризують її здатність знижувати знос поверхонь деталей тертя двигуна й оберігати пари тертя від заїдання. Залежать ці властивості від хімічного складу і полярності базової оливи, складу композиції присадок і в'язкісно-температурної характеристики оливи з присадками, яка в основному зумовлює температурні межі її застосування (захист деталей від зносу при

пуску двигуна при максимальних навантаженнях і температурах навколишнього середовища).

Множинність причин, що впливають на знос деталей двигунів, принципові відмінності режимів тертя і зношування вузлів утруднюють оптимізацію протизносних властивостей моторних олів. Проте тенденція до застосування малов'язких олів для досягнення економії палива й обмеження надходження оливи до верхньої частини циліндра для зменшення витрати на чад вимагає поліпшення протизносних властивостей олів при граничному змащуванні. Це досягається введенням спеціальних протизносних присадок, що містять сірку, фосфор, галогени, бор, а також введенням беззольних дисперсантів, що містять протизносні фрагменти.

Антифрикційні властивості характеризують здатність моторних олів знижувати механічні втрати у двигуні за рахунок зменшення втрат на тертя в сполученнях деталей. Найбільш відомі присадки, що застосовуються для покращення цих властивостей: дисульфід молібдену (MoS_2), ПАФ-4 та "Фриктол".

Антифрикційні, протизносні і протизадирні властивості олів визначаються на чотирикульковій машині тертя за методикою, прописаною у ГОСТ 9490. Ці показники нормовані стандартами і технічними умовами на більшість моторних олів для контролю процесу виробництва.

Протипінні властивості. Утворенню піни в оліві сприяють інтенсивне перемішування оливи з повітрям унаслідок обертання деталей КШМ двигуна, наявність в оліві води і стабілізуючих піну речовин - продуктів окиснення оливи. Інтенсивне піноутворення порушує нормальні процеси змащування деталей двигуна. Для боротьби з утворенням піни у моторні оливи додають речовини, які мають властивість піногасіння, так звані протипінні присадки. Найбільш поширена присадка - поліметалсилікосан ПМС-200А.

Миючі властивості. Для сучасних дизелів тепловозів моторні мастила з миючими властивостями мають дуже важливе значення. Завдяки цим властивостям оливи нерозчинні продукти окиснення і забруднення утримуються в зваженому стані, не випадають в осад і не відкладаються на металевих поверхнях деталей дизеля. Чим вище миючі властивості оливи, тим менше

нагар і лакових відкладень накопичується на деталях циліндро-поршневої групи дизеля, тим вище може бути допустима температура деталей (ступінь форсування двигуна).

5 Покращення властивостей моторних олив

Найбільш ефективним і дешевим засобом поліпшення експлуатаційних властивостей мастильних матеріалів є присадки – речовини, які додаються до олив для надання їм нових властивостей або підсилення природних. При цьому підвищується надійність роботи двигунів.

Присадки добирають для кожної групи олив з урахуванням особливостей їх вироблення, застосування й умов зберігання. Моторні оливи без присадок не виробляються.

У сучасні моторні оливи вводять присадки кількох видів: в'язкісні, депресорні, протизношувальні, протизадирні, антикорозійні, протіокисні, протііржавні, протіпінні, мийні тощо. Проте оскільки окремі, навіть найефективніші, присадки не забезпечують задовільних експлуатаційних властивостей олив, то в них зазвичай додають поліфункціональні присадки або їх пакет, що дає змогу водночас поліпшити кілька властивостей оливо.

Загальними вимогами до присадок незалежно від їх призначення є хороша розчинність в оливах і мастилах, сумісність в мастильних матеріалах, стабільність олив і мастил з присадками при тривалому зберіганні і застосуванні, нейтральність (мають не погіршувати інших властивостей олив, до яких вони додаються).

5.1 Основні властивості та характеристики присадок

В'язкісні присадки зменшують залежність в'язкості олив від температури. Застосовуються для вироблення зимових загущених олив або для підвищення їхнього індексу в'язкості. Вони додаються в кількості 2...5 % в малов'язкі оливи. При цьому необхідну в'язкість оливи одержують за температури 100 °С, а низькотемпературні властивості основної оливи зберігаються до мінус 18 °С.

Як такі присадки широкого застосування набули полімерні з'єднання: поліізобутилен, який є продуктом ізобутилену з молекулярною масою 15000-20000. Загущувальна здатність поліізобутилену залежить від його молекулярної маси. Чим вище молекулярна маса, тим більша загущувальна здатність оливи.

Поліметакрилати В-1, В-2 - продукти полімеризації ефірів метакрилової кислоти і суміші первинних спиртів. Застосовують ці присадки для підвищення в'язкості й індексу в'язкості у моторних оливах.

Депресорні присадки знижують температуру застигання оливи. Їх додають в кількості 0,1...1,0 %, при цьому температура застигання оливи знижується на 10...20 %. Вони майже не впливають на утворення кристалів парафіну під час охолодження оливи, але запобігають їх зрошуванню, отже, утворенню каркаса, завдяки чому знижується температура застигання оливи та зростає температурний діапазон її застосування. Найбільш поширеним видом цієї присадки є депресатори ЦІАТІМ-1, ЦІАТІМ-7, які додають в оливу в кількості від 0,1 до 1 %, при цьому знижується температура застигання оливи на 10-30 °С.

Протизношувальні. Зменшують зношування тертьових поверхонь. Мають високу поверхневу активність і здатні утворювати міцні адсорбовані плівки на тертьових поверхнях, що знижує механічні втрати у двигуні за рахунок зменшення втрат на тертя в сполученнях деталей. Найбільш відомі присадки, що застосовуються для покращення цих властивостей: дисульфід молібдену (MoS_2), ПАФ-4 та «Фриктол». Їх додають до оливи у кількості 0,1...2,0 %.

Протизадирні. Знижують задир поверхонь тертя, що працюють під високими питомими навантаженнями. Взаємодіють з металами й утворюють сполуки, що покривають поверхні тертя. За високих температур плавляться, виконуючи функції мастильного матеріалу.

Присадки цього типу покращують мастильну здатність оливи, зменшують знос, запобігають заїданням і задирам, витримують великі механічні навантаження на поверхні, що треться. Такі властивості мають присадки ЛЗ-23к, ОТП, ЛЗ-6/9 (містить 38-40 % сірки) та ін. Присадки, що покращують

мастильні властивості олив, які працюють у вузлах тертя з високими питомими навантаженнями, додають в межах 1-4 %.

Антикорозійні. Зменшують корозію металів і сплавів. Утворюють на поверхні тертя дуже міцну захисну плівку. Сповільнюють окиснення олив або мають лужні властивості (нейтралізують кислі продукти). Ці присадки після додавання їх (0,5-3 %) в оливу утворюють на поверхні металу плівку, що захищає його від корозії.

Антикорозійні присадки захищають антифрикційні матеріали (свинцеву бронзу), утворюючи на їх поверхні міцну і захисну плівку. Антиокиснювачі перешкоджають утворенню агресивних кислот. Іноді необхідно вводити в моторні оливи присадки-деактиватори, які створюють з'єднання з міддю, що захищають поверхню від корозійного руйнування.

Для зниження корозійного зносу при користуванні сірчистого палива велику роль відіграє лужна властивість присадки ВНІ НП-360. Сірчана і сірчиста кислоти, що утворилися в дизелі при згорянні сірчистого палива, нейтралізуються лужним компонентом присадки. Цим усуваються сірчаноокислотна корозія (корозійний знос) і утворення нагару та лаковідкладання в двигуні.

До складу присадки ВНІ НП-360 входять складні хімічні елементи: барій, цинк, фосфор, сіра та ін. Ці речовини в оливі утримуються в зваженому стані і не випадають в осад. Миючий компонент присадки змиває з деталей дизеля продукти зносу й осаду.

Протиокисні. Це різні органічні сполуки (сірчані, фосфорні, фенольні тощо). Дія цих присадок різна. Одні утворюють на поверхні тертя міцну захисну плівку, інші уповільнюють окиснення оливи, деякі мають лужні властивості, що нейтралізують кислі речовини.

Особливо важливе значення ці присадки мають для таких олив, як турбінні і трансформаторні, які повинні працювати тривалий час без зміни. Протиокисні присадки додають до олив у межах десятих часток відсотка, що знижує утворення кислих продуктів в оливах в 1,5-2 рази.

Для підвищення стабільності трансформаторних, турбінних і приладових олив застосовують антиокиснювальні присадки

іонол і п-оксидифениламін. Для моторних оливок як присадки застосовують діалкілдитіофосфати металів (ЛАНІ-317 і ДФ-1). Протиокисні присадки підвищують стійкість оливок проти окиснення їх киснем повітря при високих температурах.

Миючі. Запобігають утворенню лаків, осадів, нагарів на нагрітих деталях двигуна. Найчастіше це - солі кальцію і барію, рідше – магнію. Їх додають до оливок у кількості 3...20 %. Найефективніше застосовувати їх разом із протиокисними присадками.

У композиціях моторних оливок як миючі присадки використовують сицелати, сульфонати, алкілфеноляти, алкілсаліцилати і фосфонати кальцію або магнію і рідше (з екологічних міркувань) барію, а також раціональні поєднання цих зольних присадок одна з одною і з беззольними дисперсантами-присадками, що знижують, головним чином, схильність оливи до утворення низькотемпературних відкладень і швидкість забруднення фільтрів тонкої очистки оливи. Модифіковані термостійкі беззольні дисперсанти сприяють зменшенню лако- і нагароутворення на поршнях. Миючі властивості мають присадки ВНП НП-360, ВНП НП-370, ЦІАТІМ-339 й ін.

Протипінні присадки запобігають піноутворенню в оливі. Це полісілоксани або силікони в кількості 0,0001...0,0003 %. При цьому поліпшуються мастильні властивості оливи.

Механізм дії протипінних присадок заснований на зниженні поверхні натягнення оливи і цим полегшується видалення з оливи розчиненого в ній повітря і руйнування рясної піни. Як таку присадку застосовують присадку ПМС-200А (кремнійорганічне з'єднання поліметилсілоксану), яку додають в оливу в кількості 0,001-0,005%.

Протиіржавні. Захищають деталі від атмосферної корозії. Як захисні присадки застосовують: жирні кислоти, ефіри нафтонових і жирних кислот, металічні мила жирних кислот, сульфати металів. Дія цих присадок зводиться до утворення на поверхнях деталей міцних захисних плівок, які зберігають метал від контакту з водою й іншими речовинами, що спричиняють ржавіння. Крім того, вони запобігають електроерозійному

зношуванню деталей. Зазвичай ці присадки додають перед тривалою консервацією автівок, локомотивів та ін.

Поліфункціональні. Водночас поліпшують кілька властивостей олив. Це суміш сполук (або окрема хімічна сполука), що має різну властивість.

Пакет присадок. Суміші кількох присадок, призначених для використання в оливах. Кількість і якість цих присадок відповідає якості оливи.

Багатофункціональні – здатні поліпшувати експлуатаційні властивості оливи. Багатофункціональними присадками називають суміші, які складаються з двох і більше різних видів, доповнюючи один одну за своїм функціональним впливом. Такі присадки прийнято називати комплексними або змішаними. Так, наприклад, до складу моторної оливи марки М-14В₂, що застосовується в дизелях тепловозів, введені такі присадки: 3 % - миюча і протикорозійна ЦІАТІМ-339, 5,2 % - миюча сульфонатна ПМСА, 2 % - антиокиснювальна і протикорозійна ВНІІ НІІ-354 або 1,2 % - ДФ-11 і 0,008 % - протипінна ПМС-200А. У моторній оливі М-14Г₂ застосовують присадки МАСК, НСК, ВНІІ НІІ-354 і ПМС-200А.

Для двигунів тепловозів залізничного транспорту застосовують, як правило, багатофункціональні присадки, які поліпшують одночасно декілька властивостей. Присадка ВНІІ НІІ-360 складається з миючих компонентів ВНІІ НІІ-350 і ВНІІ НІІ-354, що мають антиокиснювальні та протизносні властивості. До складу присадки ВНІІ НІІ-360 входять складні хімічні елементи: барій, цинк, фосфор, сірка та ін. Багатофункціональні присадки призначені для покращення відразу декількох властивостей оливи. Такими присадками можуть бути як індивідуальні хімічні сполуки, так і їхні суміші. Сучасні багатофункціональні присадки: ІІІ-22К покращують миючі, антиокиснювальні, антикорозійні і протизносні властивості; АЗНІІ- ЦІАТІМ-11 знижує температуру застигання і поліпшує антикорозійні властивості; ДФ-11 використовують для поліпшення антиокиснювальних, антикорозійних і протизносних властивостей; БФК володіє миючими властивостями.

У таблиці 1 наводяться технічні умови на декілька присадок до олив. Присадка ЦІАТІМ-339 покращує миючі і антикорозійні

властивості олив. Присадка ВНІ НП-360 - багатофункціональна, вона покращує антиокиснювальні, антикорозійні і миючі властивості олив. Присадка ПМСя (багатозольний сульфат кальцію) покращує миючі властивості олив. Оливи можуть одночасно містити до десяти функціональних присадок із сумарною концентрацією їх до 25...30 %.

Присадки мають повністю розчинюватися в оливі, не випадати в осад, не розпадатися при зберіганні, не впливати негативно на інші присадки й оливи, що зумовлює їхню сумісність.

Присадки до олив мають вищу густину і в'язкість, тому при змішуванні їх з оливою внутрішнє тертя в оливі збільшується, тобто енергія, яка витрачається на її прокачування, також збільшується. Тому на зменшення витрати палива та збільшення потужності двигуна присадки не впливають. Але застосовувати присадки треба обережно, оскільки більшість із них не мають тих магічних властивостей, які їм приписують. Крім того, необхідно знати весь комплекс присадок, що додаються до оливи при виробництві, що практично неможливо (фірми або заводи-виробники це не вказують).

Одним із процесів, що супроводжують старіння оливи в експлуатації, є спрацьовування в них присадок, що у цілому ряді випадків є причиною обмеження термінів служби оливи.

Таблиця 1 – Показники властивостей присадок

Показники	Присадки		
	ЦІАТІМ-339	ВНІ НП-360	ПМСя
В'язкість кінематична при температурі 100 °С	Не менше 12,5	13-20	18-25
10^{-6} м ² /с			
Зольність, %, не менше	8,5	13,5	Сульфатна 15-20
Вміст сірки, %	4-5,5	Не менше 1,4	-
Вміст механічних домішок, %, не більш	0,15	0,10	0,03
Вміст барію, %, не менше	4,7	7,8	-

Вміст хлору, %, не більше	0,3	-	-
Вміст води, %, не більше	0,1	0,1	0,1
Реакція	Лужна		-
Вміст цинку, %, не менше	-	0,6	-
Вміст фосфору, %, не менше	-	0,8	-
Вміст кальцію, %		-	4,3-6,0

З часом концентрація присадок в оливах знижується, що пояснюється такими причинами:

- спрацьовування унаслідок втрати активних компонентів присадок, дія яких заснована на створенні в зоні тертя хімічних сполук з матеріалом мастильних поверхонь;
- розкладання присадок в оливі під впливом високої температури, наявності в оливі води;
- деструкція полімерних присадок, яка спостерігається в таких, що загущують, депресорних і інших присадках;
- випадіння присадок в осад;
- абсорбція присадок на деталях машин, поверхнях фільтроелементів і частинках забруднень;
- зменшення концентрації присадок через витіки.

Присадки антиокиснювального типу (інгібітори) спрацьовують при їх взаємодії з продуктами окиснення, які найінтенсивніше утворюються в початковій стадії експлуатації олив. Аналогічним чином спрацьовують миючі диспергуючі присадки, механізм дії яких заснований на нейтралізації ними продуктів окиснювальної полімеризації.

Збільшення терміну служби олив шляхом підвищення в них початкової концентрації присадок недоцільно. Наприклад, для збільшення терміну служби олив удвічі при значенні константи швидкості спрацьовування $k=1/50$ початкову концентрацію присадки необхідно збільшити в e^2 разів, тобто в 7,3 разу, що з економічної точки зору не вигідно.

Зменшення витрати присадок має важливе значення у зв'язку з їх високою вартістю (у десятки разів перевищує вартість базових олив). І хоча введення присадок до олив сприяє

підвищенню їх термінів служби, значні концентрації присадок не приводять до адекватного поліпшення якості оливо, а в окремих випадках навіть погіршують їхні властивості.

Застосування високоякісних моторних оливо з ефективними присадками є одним з істотних резервів підвищення надійності тепловозних дизелів.

6 Номенклатура оливо локомотивного господарства

Основне призначення мастильних матеріалів – зменшення зносу і зниження втрат на роботу при терті деталей в різних машинах і механізмах і тому вони є такими ж конструктивними елементами, як метали і матеріали, з яких виготовляють машини. Чим краще підібраний мастильний матеріал для кожного конкретного типу двигуна або деталей машин і механізмів, що труться, тим менше їх знос, краща надійність в роботі, тобто більший термін їхньої служби. Крім того, олива охолоджує нагріті деталі, захищає їх від корозії, перешкоджає прориву робочої суміші, що стискається, і продуктів згоряння з циліндра в картер двигуна та ін.

На залізничному транспорті переважно застосовуються моторні оливи (для дизелів тепловозів та дизель-поїздів, рейкових автобусів та ін.)

Моторні оливи використовують для змащення вузлів тертя двигунів внутрішнього згоряння з метою зменшення зносу. Оливи зменшують тертя, відводять теплоту від деталей і ущільнюють проміжки, в першу чергу між поршневими кільцями й стінками циліндрів. В той же час умови роботи моторних оливо навіть в одному двигуні різні залежно від типу мастильного вузла тертя (циліндро-поршнева група, підшипники, механізм газорозподілу та ін.).

Характер роботи вказаних вузлів різний за температурними навантаженнями та іншими умовами. Наприклад, тиск поршневих кілець на стінку циліндрів може змінюватися за ходом поршня в межах 0,2...2,0 МПа при швидкості ковзання від нуля у верхній і нижній мертвих точках до 15 м/с. При цьому тиск в зоні компресійного кільця складає переважно 0,15...0,3 МПа, оливознімного 0,5...1,3 МПа. Тиск в зоні тертя

вкладишів підшипників – шийка колінчастого вала досягає 20...30 МПа. Частота обертання колінчастого вала змінюється в широких межах залежно від режиму роботи двигуна. Для пари кулачок - штовхач механізму газорозподілу характерні високі контактні навантаження порядку 500...700 МПа, а в окремих випадках до 1200...1700 МПа. Температури оливної плівки, що розділяє ці вузли тертя, також різні. Так, температура газів, що прориваються з камери згорання в картер через оливну плівку в зоні циліндро-поршневої групи на такті стискування, складає 150...450 °С в карбюраторних двигунах і 500...700 °С в дизелях. Один з найбільш важливих показників, що характеризують теплонапруженість роботи оливної плівки в цьому вузлі тертя - температура першої поршневої канавки. Для сучасних двигунів вона може досягати 270...280 °С, а за наявності наддування 300...330 °С.

Температура в зоні тертя вкладишів підшипників і шийки колінчастого вала складає 150...160 °С. Робоча температура оливи в картері двигуна залежно від умов експлуатації і режиму роботи коливається в межах 80...100 °С, досягає іноді і більш високих значень. Крім того, на режим роботи моторних олив істотно впливає температура навколишнього повітря, яка залежно від району і пори року змінюється в широких межах.

У вітчизняній системі класифікація та позначення моторних олив регламентуються ГОСТ 17479.1 («Масла моторные. Классификация и обозначение»). Згідно з цим стандартом моторні оливи класифікуються за двома ознаками, які складають основу їх маркування:

- класом в'язкості - залежно від кінематичної в'язкості;
- групою експлуатаційних властивостей - залежно від галузі застосування.

Стандарт поширюється на літні, зимові і всесезонні загущені оливи, які призначені для застосування в усіх типах двигунів внутрішнього згорання, окрім авіаційних. За в'язкістю незагущені моторні мастила діляться на сім класів від 6 до 20 мм²/с (сСт) при температурі 100 °С, загущені - на чотири. За експлуатаційними властивостями залежно від типу двигуна, міри його форсування і властивості палива стандартом передбачені шість груп моторних олив (А, Б, В, Г, Д, Е), вказаних в таблиці 2.

Залежно від призначення групи оливи діляться ще на підгрупи і позначаються цифрами: 1 – для бензинових двигунів, 2 – для дизелів, наприклад М-10Б₁ і М-10Б₂.

Моторні оливи позначають за класами в'язкості, групами експлуатаційних властивостей і сезонністю застосування. Так, наприклад, олива моторна М-14Б₂ розшифровується так: буква М вказує, що це моторна олива, цифра 14 означає в'язкість при температурі 100 °С, буква Б з індексом 2 внизу - олива за експлуатаційними властивостями відноситься до групи Б і призначена для змащування малофорсованих дизельних двигунів.

Таблиця 2 – Групи моторних олив

Група олив за експлуатаційними властивостями		Рекомендована сфера застосування
А		Нефорсовані карбюраторні і дизельні двигуни
Б	Б ₁	Малофорсовані карбюраторні двигуни
	Б ₂	Малофорсовані дизельні двигуни
В	В ₁	Середньофорсовані карбюраторні двигуни
	В ₂	Середньофорсовані дизельні двигуни
Г	Г ₁	Високофорсовані карбюраторні двигуни
	Г ₂	Високофорсовані дизельні двигуни
Д	Д ₁	Високофорсовані бензинові двигуни, що працюють в експлуатаційних умовах, більш важких, ніж для олив групи Г ₁
	Д ₂	Високофорсовані дизелі з наддуванням, що працюють у важких експлуатаційних умовах або коли застосовуване паливо вимагає застосування олив із високою нейтралізуючою здатністю, антикорозійними і протизношувальними властивостями, низькою схильністю до утворення всіх видів відкладень
Е	Е ₁	Високофорсовані бензинові двигуни і дизелі, що працюють в експлуатаційних умовах більш важких, ніж для олив груп Д ₁ і Д ₂ .
	Е ₂	

Група олив за експлуатаційними властивостями	Рекомендована сфера застосування
	Відрізняються підвищеною диспергуючою здатністю, кращими протизношувальними властивостями

Залежно від кінематичної в'язкості (таблиця 3) моторні оливи підрозділяються:

- на зимові – 4 класи;
- літні – 8 класів;
- всесезонні – 10 класів.

Таблиця 3 – Класи в'язкості моторних олив

Клас в'язкості	Кінематична в'язкість, мм ² /с, при температурі	
	100 °С	-18 °С, не більше
1	2	3
3з	Не менше 3,8	1250
4з	Не менше 4,1	2600
5з	Не менше 5,6	6000
6з	Не менше 5,6	10400
6	5,6 ÷ 7,0	-
8	7,0 ÷ 9,3	-
10	9,3 ÷ 11,5	-
12	11,5 ÷ 12,5	-
14	12,5 ÷ 14,5	-
16	14,5 ÷ 16,3	-
20	16,3 ÷ 21,9	-
24	21,9 ÷ 26,1	-
3з/8	7,0 ÷ 9,3	1250

4з/6	5,6 ÷ 7,0	2600
4з/8	7,0 ÷ 9,3	2600
4з/10	9,3 ÷ 11,5	2600
5з/10	9,3 ÷ 11,5	6000
5з/12	11,5 ÷ 12,5	6000
5з/14	12,5 ÷ 14,5	6000
6з/10	9,3 ÷ 11,5	10400
6з/14	12,5 ÷ 14,5	10400
6з/16	14,5 ÷ 16,3	10400

Клас в'язкості літніх моторних олив позначається одним числом, а зимові класи мають у своєму позначенні, крім числа, ще і букву "з". Дробові позначення класу в'язкості означають, що олива є всесезонною: у чисельнику вказана приналежність до одного із зимових класів, а в знаменнику - до одного із літніх класів. Нижній інтервал температур класів в'язкості моторних олив, призначених для зимового використання, нормується при температурі -18°C , що дорівнює нулю американської шкали температур Фаренгейта.

Класифікація моторних олив за марками подана в таблиці 4.

Таблиця 4 – Фізико-хімічні властивості дизельних олив, що застосовуються на тепловозах

Найменування показників	Норма для марок олив								
	М-12Б ₂	М-14Б ₂	М-14В ₂	М-14Г ₂	МС-20п	МТ-14п	МТ-16п	М-8В ₂	М-10В ₂
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
В'язкість кінематична, мм ² /с (сСт) при температурі 100 °С	12± ±0,5	14± ±0,5	14± ±0,5	14± ±0,5	20	14± ±0,5	16- 17,5	8± ±0,5	11± ±0,5
Індекс	85	85	85	90	–	–	–	90	90

в'язкості, не менше									
Коксова-ність без присадок %, не більше	0,3	0,4	–	–	0,3	0,2	0,3		
Кислотне число, мг KOH/г без присадок, не більше	0,05	0,05	–	–	0,05	1,1	0,15	0,02	0,02
Зольність, %:									
- без присадок, не більше	0,005	0,005	–	–	0,003	0,005	0,005	0,005	0,005
- з присадками, не менше	1,0	1,0	1-1,2	1,3	0,24	0,13	0,25	1,3	1,3
Лужність, мг KOH/г, не менше	–	–	4,8-5,5	7,0	–	–	–	3,5	3,5
Масова частка механічних домішок, %:	Відсутність				0,01	0,00	0,01	0,01	0,010
-без присадок	0,015	0,015	0,015	0,015	–	8	–	5	
-з присадками, не більше								Відсутність	

Продовження таблиці 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Склад водорозчинних кислот і лугів: - без присадок - з присадками, не більше	Відсутність		–	–	Слаболужна реакція –	Відсутність –	–	Слаболужна реакція Сліди	
Масова частка води, %: - без									

присадок - з присадками, не більше	Відсутність				Сліди	Сліди	–	Сліди	
Температура, °С: спалахи в тиглі, не нижче:									
у відкритому	200	200	200	220	–	165	–	205	200
у закритому	–	–	–	–	225	–	200	–	–
застигання, не вище	-15	-15	-12	-12	18	-43	-25	-25	-15
Корозія на пластинках зі свинцю марки С1 або С2, г/м, не більше	8	8	Відсутність		10	10	10	10	10
Густина при температурі 20 °С, кг/м ³ , не більше	0,905	0,910	–	–	0,900	–	0,895	0,900	0,900
Термоокиснювальна стабільність при температурі 250 °С, хв, не менше	–	–	80	80	20	–	25	50	80
Миючі властивості за ПЗВ, бали, не більше	–	–	40	–	–	–	–	1,0	1,0

Класифікація моторних олів за марками дозволяє вибирати оливи залежно від типу двигуна, режиму його роботи і вживаного для нього палива. Крім того, оливи в межах однієї групи, що мають різну в'язкість, мають бути сумісні. Стандартом допускається можливість змішувати різні за в'язкістю оливи однієї групи без погіршення їхніх експлуатаційних властивостей.

Асортимент і коротка характеристика дизельних олів, які застосовуються на тепловозах і дизель-поїздах, наведені в

таблиці 5. Зазначені в таблиці 5 моторні оливи застосовуються в дизелях тепловозів і дизель-поїздів при поєднанні з дизельним паливом за ДСТУ 3868, вміст сірки в якому повинен бути не більше 0,5 %. Застосування моторних олив інших марок, крім зазначених у таблиці 5, а також змішування олив різноманітних марок допускається тільки у виняткових випадках із дозволу Департаменту локомотивного господарства Укрзалізниці.

Таблиця 5 – Асортимент моторних олив, які застосовуються на тепловозах і дизель-поїздах

Марка оливи	Коротка характеристика	Тепловози та дизель-поїзди, на які оливи допущені до використання
1	2	3
М-12Б (М-12БР)	Готується шляхом змішування дистилятної і залишкової оливи селективної очистки з малосірчистих і сірчистих нафт з 8%-вою присадкою ВНІ НП-360 і 0,003 %-вою присадкою ПМС-200А	ТЕМ1, ТЕМ2, ТЕМ2У, ТЕМ3, ЧМЕ2, ЧМЕ3, ТЕМ-7, ТЕМ 17
М-14Б М-14Б ₂	Те саме, що і М-12Б, розрізняються тільки за в'язкістю, яка в оливі М-14Б більше, ніж в оливі М-12Б на 2 сСт при $t=100$ °С	Типу 2ТЕ10 в/і, ТЕМ2, ТЕМ2А, ТЕМ2У, ТЕМ1, дизель-поїзди Д і Д1, ЧМЕ3
М-14В ₂	Готується на суміші олив – компонентів дистиляту і залишко-вої селективної очистки з компо-зицією присадок. Застосовується для змащування форсованих дизелів тепловозів, що працюють на паливі з умістом сірки не більше 0,5 %	2ТЕ10 в/і, ТГМ4, ТГМ6А, ЧМЕ3, ТЕМ7, ТЕМ 2У, ТЕМ2, М62, 2М62, дизель-поїзди ДР1, Д і Д1

Продовження таблиці 5

1	2	3
М-14Г ₂ М-14Г ₂ ЦС	За класифікацією відноситься до групи Г селективної очистки; готується на суміші	2ТЕ116, 2ТЕ116А, 2ТЕ121,

	дистиляту і залишкової оливи з композицією ефективних присадок. Застосовується в дизелях тепло-возів, що працюють на дизельному паливі з умістом сірки до 0,5 %	ТЕП70, ТЕМ7, ТГМ6А
МС-20п, М6-20сп, МК-20	Селективної очистки; відноситься до групи А. Є залишковою оливою МС-20 з додаванням 3 % присадки ЦАТІМ-339. Застосовується в дизелях тепловозів, що працюють на дизельному паливі з умістом сірки не більше 0,2 %	ТГМ3*, ТГМ3А, ТГМ3Б, ТГК, ТГК2, ТГМ23*, ТГМ7*, ТУ2, ТУ7, дизель- поїзди ДР1 (для тепловозів і дизель- поїздів, позначених *, допускається застосування моторної оливи М- 14В ₂)

Оливи МТ-14В, МТ-16П, М-8В₂ застосовуються на вузькоколіїних тепловозах ТУ6А, ТУ7 та ін. Нарівні з товарною оливою марки М12Б застосовується відрегенована олива М12БР.

Відповідно до ГОСТ 4.24 за основним призначенням оливи поділяються на групи та підгрупи, вказані в таблиці 6.

Таблиця 6 – Загальна класифікація олив за призначенням згідно з ГОСТ 4.24

Група	Підгрупа
Моторні	універсальні; бензинові; дизельні; газотурбінні
Турбінні	турбінні загального призначення
Трансмісійні	для механічних передач; для гідромеханічних передач; для гідростатичних передач
Індустріальні	індустріальні загального призначення
Оливи різного призначення	компресорні; циліндрові; ізоляційні

Відзначимо, що існуюча класифікація не відображає реально існуючих різновидів типів олив. Крім того, на залізничному транспорті застосовують оливи спеціального призначення: авіаційні, осьові, трансформаторні, приладові та ін.

Для деяких швидкохідних форсованих двигунів маневрових та промислових тепловозів, а також для регуляторів частоти обертання колінчастих валів застосовуються *авіаційні оливи* МС-14, МС-20, МК-22, які є остаточними високов'язкими спеціальної очистки (тепловози ТГМ23Б, ТГМ1, ТГМ3, ТГМ3А, ТГМ3Б та ТГМ3Б, таблиця 5). Ці оливи мають підвищену кінематичну в'язкість 20 мм²/с (сСт) при температурі 100 °С, малу зольність (0,003 %), та кислотне число (0,003-0,10 мг *КОН*/г), відсутність сірки та механічних домішок, підвищену температуру спалаху у тиглі (250 °С), відсутність води.

Для гідравлічних передач маневрових тепловозів та дизель-поїздів як робочу рідину застосовують турбінну оливу марки ГТ-50 з протизадирними, антиокиснювальними присадками ДФ-1, ДФ-11 та антипінною ПМС-200. Як заміник може застосовуватися олива марки Тп-22, яка має такі показники: в'язкість кінематична 20-23 мм²/с (сСт) при температурі 50 °С, лужність 0,05 мг *КОН* на 1 г оливи; температура спалаху 180 °С; відсутність води - число деемульсії не більш 5 хв; температура застигання не вище - 15 °С; відсутність механічних домішок.

Для змащування моторно-осьових підшипників ковзання тепловозів, електровозів, дизель-поїздів (з електричною передачею потужності) та поверхонь тертя екіпажної частини застосовують *осьові оливи*, які виробляють трьох марок: літня Л, зимова З та північна С (остання на залізницях України не застосовується). Температура застигання оливо повинна бути нижче температури навколишнього середовища, а температура спалаху повинна бути вище температури, яка буває у парах тертя літом. Тому температура застигання оливи марки З може бути не вище мінус 40 °С, а температура спалаху в відкритому тиглі 135 °С. Літня олива має підвищену кінематичну в'язкість у 42-60 мм²/с (сСт) при температурі 50 °С, а марки З (зимова) - не нижче 22 мм²/с (сСт). Допускається наявність води (0,3-0,4 %) та механічних домішок (0,05-0,07 %).

На електричному ТРС, який працює на змінному струмі, в трансформаторах застосовують оливу як рідинний діелектрик. Така олива одночасно захищає трансформатор від вологи та повітря і є охолоджуючою рідиною. Виробляється вісім марок трансформаторної оливи різного призначення та складу: ТКп,

T-750, АТМ-65, ВВПЕ та ін. На залізничному транспорті застосовують оливу марки Т-1500.

Для забезпечення роботи гальмових та стаціонарних компресорів застосовують *компресорні оливи* марки К-19, КС-19 (влітку) та марки К-12, КСп-12 (взимку). Під час роботи компресора олива, яка контактує з гарячим повітрям, піддається окисненню, тобто олива повинна мати добру протиокиснювальну здатність. В'язкість оливи К-12 складає 11-14, а К-19 18-22 мм²/с (сСт) при температурі 100 °С, температура спалаху відповідно 216 °С та 245 °С при відсутності води. В гальмівну систему не повинна потрапляти вода або оливні випаровування, які можуть призвести до порушення гальмівного обладнання узимку або вибуху в повітряних резервуарах.

Інші оливи із наведеного переліку застосовуються у меншій кількості, а призначення відомі з назви (індустріальні, трансмісійні, приладові, у т.ч. годинникові) тому далі не розглядаються.

Питання для підготовки до модульного контролю

- 1 Назвіть основні етапи виробництва олив.
- 2 З яких компонентів складаються сучасні оливи?
- 3 Які види базових олив Вам відомі?
- 4 Назвіть основні операції виробництва базових нафтових олив.
- 5 Яким чином отримують компаундовані нафтові базові оливи?
- 6 Що таке тертя, його основні види?
- 7 Що таке в'язкість речовини?
- 8 Що таке динамічна й кінематична в'язкість моторної оливи?
- 9 Який зв'язок між кінематичною і динамічною в'язкістю олив? Назвіть одиниці вимірювання цих величин.
- 10 В чому полягає призначення моторних олив?
- 11 Які властивості повинні мати моторні оливи для забезпечення нормальної роботи двигунів внутрішнього згорання?
- 12 Наведіть приклади моторних олив, охарактеризуйте умови їх роботи та виконувані функції.
- 13 Охарактеризуйте властивості моторних олив: в'язкісно-температурні, мастильні.
- 14 Опишіть умови експлуатації моторних олив з точки зору температури деталей, з якими вони контактують, тиску у вузлах тертя та режиму їх змащування.
- 15 Як класифікують та маркують вітчизняні моторні оливи?
- 16 Розшифруйте позначення олив M14B₂, M14Г₂ЦС.
- 17 За якими ознаками класифікуються всі моторні оливи, згідно ГОСТ 17479.1?
- 18 За якої температури визначається в'язкість моторної оливи для класифікації її за ГОСТ 17479.1?
- 19 Як класифікуються моторні оливи залежно від в'язкості, згідно ГОСТ 17479.1?
- 20 Яким чином позначаються класи в'язкості олив за ГОСТ 17479.1?

21 На які групи за експлуатаційними властивостями поділяються моторні оливи, згідно ГОСТ 17479.1?

22 Які групи моторних олив за ГОСТ 17479.1 застосовуються зараз у двигунах локомотивів?

23 Для якої температури нормується в'язкість моторних олив?

24 Якими параметрами може бути оцінена залежність в'язкості моторної оливи від температури?

25 Що таке індекс в'язкості оливи і як він визначається?

26 Яким чином виробники олив регулюють їх в'язкісно-температурну характеристику?

27 До чого приводить окиснення оливи в процесі експлуатації?

28 Яким чином змінюється в'язкість моторної оливи в процесі експлуатації і які це має наслідки для двигуна?

29 Які основні присадки додаються до моторних олив? Їх призначення.

30 Назвіть основні види присадок до моторних олив, вкажіть їх призначення. Чим, на Вашу думку, пояснюється все ширше застосування пакетів присадок?

31 Назвіть основні причини зменшення концентрації присадок у моторних оливах.

32 Які присадки запобігають спінюванню олив?

33 Який механізм дії в'язкісних присадок, що вводяться в моторні оливи?

34 В чому полягає дія миючих присадок, що вводяться в моторні оливи?

35 Який механізм дії депресорних присадок, що вводяться в моторні оливи?

36 Який механізм дії припрацювальних присадок, що вводяться в моторні оливи?

37 Який механізм дії протикорозійних присадок?

38 Що називається температурою застигання оливи?

39 Які показники якості моторних олив відносяться до високотемпературних?

40 Що показує лужне число моторної оливи, яким методом воно визначається і в яких одиницях вимірюється?

41 Що характеризують миючо-диспергуючі властивості моторних олив?

42 Які властивості моторних олив визначаються на чотирикульковій машині тертя?

43 Що характеризують такі показники якості моторної оливи, як коксовність і зольність?

44 Що означає позначення оливи КС19?

45 Що означає позначення оливи ТСП-14?

46 Що означає позначення оливи ОС-Л (ОЛ)?

Список літератури

1 Полянський, С. К. Експлуатаційні матеріали для автомобілів і будівельно-дорожніх машин [Текст] : підручник / С. К. Полянський, В. М. Коваленко. - К. : Либідь, 2005. - 504 с.

2 Венцель, Е. С. Улучшение качества и повышение сроков службы нефтяных масел [Текст] / Е. С. Венцель, С. Г. Жалкин, Н. И. Данько. – Харьков : УкрГАЗТ, 2003. - 168 с.

3 Мурзин, Л. Г. Топливо, вода, смазка [Текст] / Л. Г. Мурзин, В. М. Гончаров. - М. : Транспорт, 1981. - 253 с.

4 Меркурьев, Г. Д. Смазочные материалы на железнодорожном транспорте [Текст] : справочник / Г. Д. Меркурьев, Л. С. Елисеев. - М. : Транспорт, 1985. - 255 с.

5 Киселев, М. М. Топливо-смазочные материалы для строительных машин [Текст]: справочник / М. М. Киселев. - М.: Стройиздат, 1988. - 271 с.

6 Кузнецов, А. В. Топливо и смазочные материалы [Текст] / А. В. Кузнецов. - М. : КолосС, 2007. - 198 с.

7 Матвиевский, Р. М. Смазочные материалы: антифрикционные и противоизносные средства. Методы испытаний [Текст] : справочник / Р. М. Матвиевский, В. Л. Лашхи, И. А. Буяновский. - М. : Машиностроение, 1989. - 224 с.

8 Інструкція з використання мастильних матеріалів на тяговому рухомому складі залізниць України. № ЦТ-0060 від 24.04.2003 р. [Текст]. - К. : Укрзалізниця, 2003. - 53 с.

9 Жалкін, Д. С. Методичні вказівки до ділової гри на тему «Економія моторного масла при експлуатації тепловозних дизелів» з дисципліни «Експлуатаційні матеріали та паливна економічність» [Текст] / Д. С. Жалкін, С. Г. Жалкін. – Харків : ХарДАЗТ, 1996. - 40 с.

10 Жалкін, Д. С. Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи «Відновлення властивостей обводненого дизельного масла» [Текст] / Д. С. Жалкін, А. О. Циганок. – Харків : ХарДАЗТ, 2002. - 10 с.

11 Жалкін, С. Г. Аналіз властивостей експлуатаційних матеріалів [Текст] : метод. вказівки до виконання контрольної роботи з дисципліни «Експлуатаційні матеріали, основи технології проектування підприємств та екологія локомотивного

господарства» / С. Г. Жалкін, Д. С. Жалкін. – Харків : УкрДАЗТ, 2011. - 18 с.

12 Итинская, Н. И. Топливо, масла и технические жидкости [Текст]: справочник / Н. И. Итинская, Н. А. Кузнецов. - М. : ВО Агропромиздат, 1989. - 304 с.

13 Кравець, А. М. Моторні оливи [Текст] : конспект лекцій / А. М. Кравець, В. Г. Кравець. – Харків : УкрДУЗТ, 2012. - 38 с.

