

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

Циклова комісія технічного обслуговування авіаційної техніки

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

з навчальної дисципліни
«Транспортні пально-мастильні матеріали»
обов'язкових компонент
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

272 Авіаційний транспорт
(Технології робіт та технологічне обладнання аеропортів)

за темою № 10 – Загальна характеристика трансмісійних олив

Кременчук 2023

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 30.08.2023 № 7

СХВАЛЕНО

Методичною радою
Кременчуцького льотного коледжу
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 28.08.2023 № 1

ПОГОДЖЕНО

Секцією науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від 29.08.2023 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки, протокол від 28.08.2023 № 1

Розробник:

Викладач циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки, спеціаліст вищої категорії, викладач - методист Давітая О. В.

Рецензенти:

- 1. Доцент кафедри автомобілів та тракторів Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, к.т.н., доцент Павленко О. В.;*
- 2. Професор навчального відділу КЛК ХНУВС, к.х.н., доцент Козловська Т. Ф.*

План лекції

1. Умови роботи та вимоги до трансмісійних олив.
2. Основні властивості трансмісійних олив.
3. Класифікація та асортимент трансмісійних олив.

Рекомендована література:

Основна

1. Бойченко С. В. Оливи. Моторні, турбінні, гідравлічні та трансмісійні: властивості та якість : підручник. Київ : Центр учбової літератури, 2019. 323 с. URL:<https://er.nau.edu.ua/bitstream/NAU/38010/> (дата звернення: 10.08.2023).
2. Бойченко С. В. Моторні палива: властивості та якість: підручник. Київ : Центр учбової літератури, 2017. 324 с. URL:<https://klk.univd.edu.ua/uk/dir/177/biblioteka> (дата звернення: 10.08.2023).
3. Бойченко С. В., Спіркін В. Г. Вступ до хімотології палив та олив : навчальний посібник. Одеса: Астропринт, 2009. Ч.1. 236 с.
4. Бойченко С. В., Любінін Й. А., Спіркін В. Г. Вступ до хімотології палив та олив : навчальний посібник. Одеса: Астропринт, 2009. Ч.2. 276 с.

Додаткова

5. Чабанний В. Я., Магопець С. О., Мажейка О. Й. Паливо-мастильні матеріали, технічні рідини та системи їх забезпечення: навч. посібн. Кіровоград: Центрально-Українське видавництво, 2008. ч.1. 353 с. URL : https://library.kr.ua/wp-content/elib/chabanniy/Chabanniy_Pal_mast_Mater_kn1.pdf (дата звернення: 25.07.2023).
6. Чабанний В. Я., Магопець С. О., Осипов І. М. Паливо-мастильні матеріали, технічні рідини та системи їх забезпечення : навч. посібн. Кіровоград: Центрально-Українське видавництво, 2008. ч.2. 500 с. URL : https://library.kr.ua/wp-content/elib/chabanniy/Chabanniy_Pal_mast_Mater_kn1.pdf (дата звернення: 13.07.2023).

Текст лекції

1. Умови роботи та вимоги до трансмісійних олив.

Трансмісійні оливи використовують у вузлах тертя агрегатів трансмісій легкових і вантажних автомобілів, автобусів, тракторів, тепловозів, дорожньобудівельних і інших машин, а також у різних зубчастих редукторах і черв'ячних передачах промислового обладнання.

Агрегати трансмісій в одному корпусі можуть мати всі види передач і механізмів – зубчасті, фрикційні, а також гідродинамічні та гідравлічні механізми. Тому для трансмісійних олив необхідні такі універсальні властивості: ММ механічних зубчастих передач, середовище для

забезпечення зчеплення у фрикційних передачах, а також рідини, що передає потужність у гідравлічних передачах і регулюючих пристроях.

Загальна характеристика, технічні вимоги, функції та призначення

У механічних трансмісіях функцією оливи є змащування агрегатів, таких як коробка передач (механічна, автоматична, з головною провідного ведучого моста), зчеплення, коробка роздачі, провідних мостів автомобілів, головна передача, карданний вал з шарнірами, механізм вибору потужності в тракторах і інших мобільних робочих машин, тощо. Основними змащувальними елементами в них є: циліндричні прямозубі та косозубі шестерні, конічні та спіральні-конічні зубчасті та гіпоїдні передачі.

Функції трансмісійних олив у механічних трансмісіях полягають в:

- оберіганні поверхонь тертя від зношування, заїдання, піттингу та інших пошкоджень;
- зменшенні коефіцієнта тертя;
- відведенні тепла від поверхонь, що труться;
- захисті від корозії;
- 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 олив 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.

2. Основні властивості трансмісійних 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 зазначати 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 олив, 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 олив не завжди прийнятне через високі деформації зсуву в навантажених елементах передач. Для високоякісних олив 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.

В'язкість трансмісійних олив є комплексним показником і характеризує поведінку оливи як за температур установленого 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 °C.
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.

Трансмісійні оливи виготовляють зі суміші дистилятних 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: критичне навантаження; критичне навантаження зварювання; критичне навантаження заїдання показник зношування; швидкість зношування; інтенсивність зношування; узагальнений показник зношування.

До опосередкованих характеристик відносять: масова частка активних елементів, що містяться в оливі після додавання до неї протизношувальних присадок; 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; коефіцієнт тертя; сила тертя.

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 олив.

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 олив використовують лабораторні, стендові та моторні методи дослідження.

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 сталі 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 олив оцінюють методикою в умовах перемінного контактування з повітрям. Результат корозії оцінюють втратою маси досліджуваної металевої пластинки відносно її поверхні у г/м² за певних умов випробування.

3. Класифікація та асортимент 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.

Класифікація трансмісійних олив визначається згідно з ГОСТ 17479.2. 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 (табл.1); буквенні індекси означають: «рк» – робочо-консерваційна; «гіп» – гіпоїдна тощо.

Таблиця 1

**Групи трансмісійних олив
за експлуатаційними властивостями**

Клас в'язкості	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.2) Така в'язкість вважається граничною, оскільки за неї ще забезпечується надійна робота агрегатів трансмісії.

Таблиця 2

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	–

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».

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.3).

Таблиця 3

**Відповідність класів в'язкості та експлуатаційних груп
до класифікації 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	«TM-1»	GL-1
12	80W/85W	«TM-2»	GL-2
18	90	«TM-3»	GL-3
34	140	«TM-4»	GL-4
		«TM-5»	GL-5

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 сьогоденішнього покоління, що спричинено значним скороченням експлуатації старих автомобілів, тракторів, екскаваторів та інших видів транспортних, будівельних і сільськогосподарських технічних засобів.

Мастильні 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.

В'язкість трансмісійної оливи повинна вибиратися з урахуванням найбільшої та найменшої температури навоколишнього середовища, за яких планується експлуатація автомобіля. Виходячи з цього, класифікація SAE J306 ґрунтується на показниках низькотемпературної та високотемпературної в'язкостей.

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 олив за експлуатаційними властивостями, якістю та призначенням немає. Загальновизнаною в усьому світі є система класифікації API, що стосується олив 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.

Основними ознаками класифікації є конструкція й умови роботи передачі, додатковими ознаками – вміст протизношувальних і протизадирних присадок.

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.