

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
АЕРОКОСМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ПІДТРИМАННЯ ЛЬОТНОЇ ПРИДАТНОСТІ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

канд. техн. наук, доц.

_____ О.В. Попов

«__»_____ 2022 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ЗДОБУВАЧА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА
ЗА ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНОЮ ПРОГРАМОЮ
«ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН І
АВІАДВИГУНІВ»

Тема: «Дослідження базових олив при несталих процесах тертя»

Виконав: _____ М.В. Задера

Керівник: д-р. техн. наук, проф. _____ Р.Г. Мнацаканов

Консультанти з окремих розділів пояснювальної записки:

охорона праці: ст.викладач _____ О. О. Козлітін

охорона навколишнього середовища:
канд. біол. наук, доц. _____ А.О. Падун

Нормоконтролер _____

Київ 2022

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Аерокосмічний факультет
Кафедра підтримання льотної придатності повітряних суден
Освітній ступінь «Магістр»
Спеціальність 272 «Авіаційний транспорт»
Освітньо-професійна програма «Технічне обслуговування та ремонт повітряних суден і авіадвигунів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
канд. техн. наук, доц.

_____ О.В. Попов
«___» _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання кваліфікаційної роботи ЗАДЕРИ МАКСИМА ВІТАЛІЙОВИЧА

1. Тема роботи: «Дослідження базових олив при несталіх процесах тертя» затверджено наказом ректора від 29 вересня 2022 року № 1786/ст.
 2. Строк виконання роботи: з 26 вересня 2022 року по 30 листопада 2022 року.
 3. Вихідні дані до роботи: максимальна товщина змащувального шару для різних мастильних матеріалів при усталеному та неусталеному режимах роботи; максимальна (критична) температура початку руйнування змащувального шару мастильних матеріалів та самогенеруючої органічної плівки; діапазон температур (межі працездатності) базових мастил для усталених та неусталених режимів роботи, при яких забезпечується оптимальна змащувальна дія.
 4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки: змащувальна дія мастил при терті; метод дослідження ефективності змащувальної дії мастильних матеріалів в умовах тертя поверхонь з локальним контактом; змащувальна дія індивідуальних базових рідин, розробка заходів з охорони праці та навколишнього середовища.
 5. Перелік графічного матеріалу: діаграми швидкостей ковзання профілів зубців одне по одному; графіки працездатності мастильних матеріалів в умовах кочення з просковжуванням для пар тертя з локальним контактом; принципова електрична схема вимірювання товщини змащувального шару в контакті тертя по методу вимірювання падіння напруги (ВПН) в режимі нормального тліючого розряду (НТР); механізм створення граничних абсорбційних і хемосорбційних змащувальних шарів.
- Графічний (ілюстративний) матеріал виконано з використанням Microsoft Office Excel, Power Point та представлено у вигляді презентацій.

6. Календарний план-графік

Завдання	Строк виконання	Відмітка про виконання
Видача завдання на дипломне магістерське досліджування	26.09.2022 - 30.09.2022	
Пошук матеріалу до кваліфікаційної роботи	01.10.2022 – 15.10.2022	
Аналіз технологічного процесу і обладнання виконання роботи	16.10.2022 – 20.10.2022	
Забезпечення охорони праці при виконання дослідження	21.10.2022 – 27.10.2022	
Дослідження індивідуальних базових мастильних матеріалів	28.10.2022 – 10.11.2022	
Обробка результатів дослідження	11.11.2022 – 14.11.2022	
Оформлення кваліфікаційної роботи:	15.11.2022 – 23.11.2022	

7. Консультанти з окремих розділів роботи

Розділ	Консультант	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Ст. викладач Козлітін О. О.		
Охорона навколишнього середовища	Канд. біол. наук, доц. Падун А.О.		

8. Дата видачі завдання: «___» _____ 2022 року.

Керівник дипломної роботи _____

Завдання прийняв до виконання _____

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи: «Дослідження базових олив при несталих процесах тертя»:

109 ст., 18 рис., 12 табл., 59 джерел

Об'єктом дослідження є процеси утворення масляної плівки базових мастильних матеріалів.

Предметом дослідження є властивості базових мастильних матеріалів.

Метою роботи є дослідження змащувальної дії та визначення меж працездатності базових мастильних рідин, а також вплив основних видів усталених та неусталених режимів роботи на змащувальну здатність вуглеводневих рідин.

В роботі поставлені і вирішуються наступні задачі:

1. Дослідження змащувальної дії мастильних рідин при усталених та неусталених режимах роботи, визначення особливостей поточних процесів.

2. Визначення меж працездатності для мастильних рідин, при яких забезпечується найбільший ефект змащувальної дії при усталених та неусталених режимах тертя в діапазоні робочих температур.

3. Дослідження впливу температури на формування адсорбційних та хемосорбційних (самогенеруючих органічних плівок) змащувальних шарів при різних режимах тертя.

4. Розробка рекомендацій для практичного використання отриманих результатів.

Методами дослідження є математичне, комп'ютерне та натуральне модулювання процесів при терті поверхонь з вуглеводневими рідинами в умовах пуску зупинки.

БАЗОВІ МАСТИЛЬНІ МАТЕРІАЛИ, ВУГЛЕВОДНЕВІ РІДИНИ, ТЕРТЯ, ТОВЩИНА МАСТИЛЬНОЇ ПЛІВКИ, ЗУБЧАСТІ ПЕРЕДАЧІ, КОЧЕННЯ З ПРОСКОВЖУВАННЯМ, ПУСК-ЗУПИНКА.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ, ПОЗНАЧЕНЬ ТА ІНДЕКСІВ	7
ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1. ЗМАЩУВАЛЬНА ДІЯ МАСТИЛ ПРИ ТЕРТІ	
1.1. Контактно-гідродинамічна теорія змазки	12
1.2. Мастильний шар у важконавантаженому контактї при ідеальному коченні	13
1.3. Мастильний шар у важконавантаженому контактї при коченні з просковжуванням	19
1.4. Режим граничної змазки	24
1.5. Змащувальна здатність самогенеруючої органічної плівки	28
1.6. Адсорбція і хемосорбція мастил	30
1.7. Утворення адсорбційних плівок вуглеводневими рідинами	32
Висновки до розділу 1	35
РОЗДІЛ 2. МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗМАЩУВАЛЬНОЇ ДІЇ МАСТИЛЬНИХ РІДИН В УМОВАХ ТЕРТЯ ПОВЕРХОНЬ З ЛОКАЛЬНИМ КОНТАКТОМ	
2.1. Метод визначення товщини змащувального шару в контактї тертя	36
2.2. Метод вимірювання падіння напруги в режимі нормального тілючого розряду	40
2.3. Метод визначення питомої роботи тертя в період пуску	42
2.4. Установка для дослідження пусків і зупинок на змащувальну здатність вуглеводневих рідин	45
Висновки до розділу 2	48

РОЗДІЛ 3. ЗМАЩУВАЛЬНА ДІЯ ІНДИВІДУАЛЬНИХ МАСТИЛЬНИХ РІДИН

3.1	Склад базових мастил і властивості вуглеводневих рідин	49
3.2	Змащувальна дія індивідуальних вуглеводнів в умовах пусків і зупинок	55
3.3	Аналіз отриманих результатів змащувальної дії вуглеводневих рідин	62
3.4	Механізм будови граничних абсорбційних і хемосорбційних змащувальних шарів	67
	Висновки до розділу 3	72

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1	Небезпечні та шкідливі фактори при обробці статистичних даних при дослідженні змащувальної дії мастильних рідин	73
4.2	Технічні та організаційні заходи для зменшення рівня впливу небезпечних та шкідливих факторів	73
4.3	Забезпечення пожежної та вибухової безпеки при обробці статистичних даних	86
	Висновки до розділу 4	90

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

5.1	Аналіз екологічної небезпеки експлуатації та ремонті літака	91
5.2	Розрахунок контрольного параметру емісії двигуна Д-30КУ-154 на відповідність емісійним вимогам ІСАО	92
	Висновки до розділу 5	100

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ 101

РЕКОМЕНДАЦІЇ 103

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 104

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ, ПОЗНАЧЕНЬ ТА ІНДЕКСІВ

ВГВ	– вуглеводневі рідини
ВДТ	– відеодісплейний термінал
ВПН	– вимірювальне падіння напруги
ВЧ ПРА	– високочастотні пускорегулюючі апарати
ГСК	– генератор постійного струму
ДСанПіН	– Державно-санітарні правила і норми
ЕОМ	– електронно-обчислювальна машина
ЕПВ	– електронний потенціометр
КГТЗ	– контактно-гідродинамічна теорія змащування
КПО	– коефіцієнт природньої освітленості
МВС	– Міністерство внутрішніх справ
МОЗ	– Міністерство охорони здоров'я
НРБУ	– норми радіаційної безпеки України
НТП	– науково-технічний прогрес
НТР	– нормальний тліючий розряд
ПАР	– поверхнево-активні речовини
ПЕОМ	– периферійні пристрої електрообчислювальних машин
ПУЕ	– правила устрою електроустановок
САІ	– авіаційна акумуляторна батарея
СМЦ	– машина тертя
СН	– санітарні норми
СНіП	– санітарні норми і правила
СОП	– самогенеруюча органічна плівка
УЕБ	– управляючий електронний блок

μ_p / μ_o	– відносна в'язкість змащувального шару
μ	– в'язкість мастила
t°	– температура мастила
P	– тиск
$V_{ков.}$	– швидкість ковзання
V_Σ	– сумарна швидкість кочення
h_o	– товщина змащувального шару в початковий момент
μ_o	– в'язкість мастила при його об'ємній температурі
h_{min}	– мінімальна товщина змащувального шару
h_{max}	– максимальна товщина змащувального шару
λ	– характеристика режиму змащування
$P_{пог.}$	– погонне навантаження
α	– п'єзокоефіцієнт в'язкості
A	– коефіцієнт роботи
E'	– приведений модуль пружності
E_1, E_2	– модуль пружності матеріалів циліндрів
ρ	– приведений радіус кривизни
ν_1, ν_2	– коефіцієнт Пуассона
R_{z1}, R_{z2}	– висоти нерівностей поверхонь роликів установки
h	– товщина змащувального шару
ΔU	– величина падіння напруги
$\Delta U_{заг}$	– сумарне падіння напруги
ΔU_z	– падіння напруги на змащувальному шарі
$\Delta U_{вн}$	– падіння напруги на внутрішніх ділянках ланцюга
M	– момент тертя
E_k	– кинетична енергія
J_p	– полярний момент інерції обертаючих деталей
ω_o	– кутова швидкість обертаючих деталей
Δt	– величина часу
F	– площа контакту зразків, які труться
ε	– просковжування роликів одне відносно другого
n	– число атомів вуглецю в молекулі
t_p	– температура початку руйнування СОП
Δ	– товщина змащувального шару
λ_o	– довжина молекул ВГВ рідини
σ_n	– контактна напруга робочих роликів

ВСТУП

Науково-технічний прогрес (НТП) характеризується широким застосуванням машин і апаратів самих різноманітних конструкцій, працюючих в різних середовищах, а також при великих тисках в опорах, великих швидкостях ковзання і кочення, високих температурах.

Працездатність деталей машин і механізмів при вірній експлуатації визначається трьома основними факторами: конструкцією, технологією (якістю) виготовлення і змазкою. Якщо конструюванню деталей машин і механізмів, а також технології машинобудування присвячена різноманітна література та відповідні дисципліни вивчаються у вищих та середніх навчальних закладах, то питання змащування деталей залишаються практично у тіні.

Вірне рішення питань змащування має перворядне значення для технічно-економічного показника кожної розвиненої країни, оскільки від нього залежить ефективність всієї машинної техніки, яка знаходиться в експлуатації. Змащувальна ефективність мастила залежить від сполучення численних тісно пов'язаних між собою факторів, які визначають у сукупності характер впливання мастила на зношення і тертя змащувальних поверхонь. Одні з цих факторів залежать від властивостей мастила, в тому числі від їх змін в процесі експлуатації, другі – від стану і властивостей поверхонь, що труться, в тому числі від їх змін в процесі експлуатації, треті – від характеру взаємодій між компонентами мастила, поверхонь що труться та окисними плівками, які їх покривають, четверті – від швидкості, навантаження, температури та інших параметрів режиму тертя.

Додаткові складності вносять непостійність більшості цих факторів внаслідок змінних умов роботи змащувальних поверхонь, які можуть змінюватись як в межах одного робочого циклу деталі, так і на протязі всього строку її служби.

Мастила, які застосовуються в сучасних механізмах, працюють в дуже важких умовах і експлуатуються при напружених механічних і термічних

режимах. Так, в процесі змазки зубчатої передачі мастила в зоні контакту зубців підлягають стисненню під тиском, яке за період часу може зрости від атмосферного до 20000 атмосфер і більше, після чого миттєво знизитись до атмосферного.

Однак, у питаннях змащувальної дії мастил та їх впливання на зношення і тертя залишається ще багато невідомого та суперечного, так що на багато, в тому числі на самі актуальні питання практики, зараз не можуть дати однозначну відповідь. У значній степені це пояснюється експериментальними труднощами: дуже важко, наприклад, встановити, що відбувається в змащувальному шарі між зубцями пари шестерень, контакт, яких продовжується всього декілька мікросекунд. Важливо також те, що сума знань, які необхідні для порозуміння процесів змащування, тертя та зношування деталей машин, дуже поширена та багатогранна [1].

Контактно-гідродинамічна теорія змащування (КГТЗ) на даний час розроблена з достатньою повнотою і перевірена експериментально. Однак, на практиці для вибору та розробки змащувальних мастил не використовується тому, що змащувальні дії здійснюється в більш широких межах, ніж це впливає з теорії.

Змащувальна дія на межі металу – змащувальне середовище являється менш вивченим, в зв'язку з складністю процесів. Тут можна відмітити роботи А.С.Ахматова [2], в яких докладно вивчені механізм створення, структура і властивості граничних шарів полярно-активних компонентів мастила.

В зв'язку з цим, питання удосконалення технічно-економічних показників зубчатих передач та підшипників кочення, за рахунок поліпшення змащування необхідно вирішувати на основі більш глибокого вивчення механізму створення граничних змащувальних шарів, а також їх протизношувальної дії.

Основним критерієм, характеризуючим змащувальну дію, є величина падіння електричної напруги на змащувальному шарі, яка пропорційна товщині змащувального шару індивідуальних вуглеводневих рідин.

Актуальність роботи

Найбільш частий вихід із строю деталей, що труться, і найбільші зношення спостерігаються при цілком певних умовах роботи. До таких умов, насамперед, відносяться неусталені режими роботи, особливо при пусках і зупинках, при зміні температури. Такі неусталені режими роботи і різкі зміни температури характерні для вузлів тертя гелікоптерів, здійснюючи польоти малої тривалості і в різко змінюючих режимах.

Для деталей, що труться, з локальним контактом (зубчаті передачі і підшипники кочення) характерне періодичне прикладання навантаження і температур до кожної ділянки робочої поверхні. При усталеному режимі роботи циклічні зміни, що повторюються є стаціонарними, при неусталеному режимі роботи мають змінну амплітуду і частоту. Тому дослідження в неусталених умовах являє собою дослідження впливу нестаціонарних перемінних напружень і температур на змащувальну дію змащувальних шарів окремих вуглеводневих рідин, які твердіють у навантаженому локальному контакті. Для вуглеводневих рідин подібні дослідження досить планомірно не проводились. Отримані при цьому оцінки сумісно з оцінками в усталених режимах і при екстримальних температур, на протязі якого змащувальний матеріал зберігає свої робочі властивості дозволяє отримувати досить об'єктивні дані про поведінку змащувального матеріалу в таких високовідповідальних і працюючих у широкому діапазоні умов пар тертя, як зубчаті передачі та підшипники шарнирів несучих гвинтів гелікоптерів.

РОЗДІЛ 1

ЗМАЩУВАЛЬНА ДІЯ МАСТИЛ ПРИ ТЕРТІ

1.1 Контактно-гідродинамічна теорія змащування

Засновником гідродинамічної теорії змащування (КГТЗ) є видатний російський інженер і вчений професор Петербургського технологічного інституту Н.П. Петров. У своїй фундаментальній роботі “Тертя в машинах та впливання на нього змащувальною рідиною”. Н.П. Петров теоретично розрахував гідродинамічну задачу і дав пояснення механізму тертя змазаних поверхонь. Майже в цей же час була опублікована робота другого видатного дослідника О.Рейнольдса, який отримав основні диференціальні рівняння гідродинамічної теорії змащування на основі ряду документів. Для випадку циліндричного підшипника Рейнольдсу не вдалося отримати точного рішення. Таке рішення було отримано в 1904 році Зоммерфельдом [3]. В тому ж році М.Є.Жуковський і С.О.Чаплигін отримали і проінтегрували точне рівняння гідродинамічної теорії змащування.

Подальше розвинення гідродинамічна теорія змащування отримала в роботах Г.М. Мартіна [4], В.Пепплера [5], А.М.Ертелема, А.І.Петрусевича, А.Н.Грубіна, Д.С.Кодніра, Крука, Доусона, Хігінсона та інших вчених.

Значне наближення розрахункової схеми до дійсних умов виникло, коли було враховано зміна в'язкості з тиском, а при питомих тисках на сталевих поверхнях вище 3000 – 5000 кГ/см² також і пружна деформація поверхні тертя. У більш точних рішеннях, крім того, повинна враховуватись стискання мастил і залежність його в'язкості від температури.

Всі ці явища, які ігноруються класичною гідродинамічною теорією, враховуються контактної-гідродинамічною теорією, яка представляє собою теорію змащування деталей з важконавантаженими поверхнями тертя, які працюють при герцовському контакті.

В той час коли класична гідродинамічна теорія базується на висновках, які випливають з рівняння Рейнольдса, контактної-гідродинамічна теорія

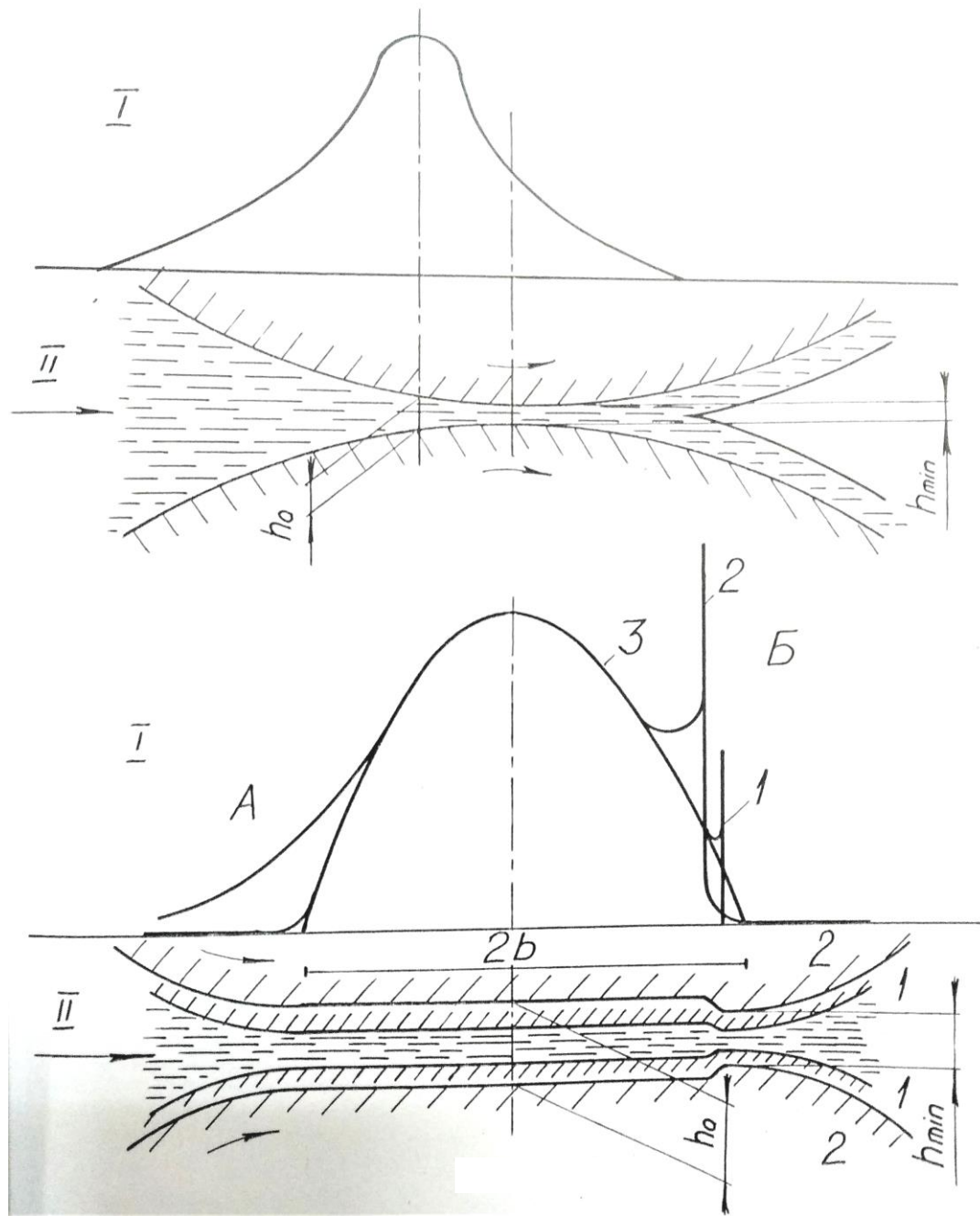
основана на сумісному рішенні рівняння Рейнольдса і рівнянні пружності з урахуванням залежності в'язкості мастил від тиску. Ця теорія дозволила пояснити ряд явищ в області змащування і тертя, де класична гідродинамічна теорія була безсилою, і створила передумови для розрахунку на рідинне тертя багатьох деталей машин.

Незважаючи на велике число робіт в області контактної-гідродинамічної теорії, її розробка ще далека від завершення, а деякі принципові положення не перевірені експериментом, що пояснюється складністю визначення параметрів змащування в зоні контакту швидкообертаючих деталей. По мірі розвитку теоретичних та експериментальних досліджень в області контактної-гідродинамічної теорії вона повинна стати основою для створення методів розрахунку деталей машин, таких як зубчаті передачі (із зачепленням евольвентним і Новікова), черв'ячні передачі, підшипники кочення, кулачкові механізми, підшипники ковзання (з неметалічних матеріалів і важконавантажених металічних), фрікційні передачі та інші [1].

1.2 Мазильний шар у важконавантаженому контакті при ідеальному коченні

Розглянемо умови змащування важконавантаженого контакту на прикладі двох циліндрів з паралельними вісями з зовнішнім дотиком, навантажених радіальною силою і обертаючих при ідеальному коченні (тобто при швидкості ковзання $V_{\text{ков.}} = 0$) (рисунок 1.1). Змащування такої зони контакту характеризується наступними особливостями.

1. В легконавантаженому контакті (рисунок 1.1, а) поверхні циліндрів зберігають свою геометрію без змін. Розподілення тиску в мазильному шарі при обертанні циліндрів носить чисто гідродинамічний характер. У важконавантаженому контакті (рисунок 1.1, б) в статичному стані під дією прикладеного навантаження виникає пружна деформація (сплющування) циліндрів, які контактують. Ширина $2b$ площадки пружної деформації і



а – легконавантажений контакт. Поверхні тертя не деформовані;
 б – важконавантажений контакт поверхні тертя деформовані (розклинені);
 А – область підвищеного тиску на вході; Б – пік тиску на виході з зони
 контакту; I – криві тиску; II – профіль зазору; 1 – крива тиску і профіль зазору
 при малих величинах $\mu_0 V \Sigma$; 2 – крива тиску та профіль зазору при великих
 величинах $\mu_0 V \Sigma$; 3 – крива герцовського тиску (при $V \Sigma = 0$).

Рисунок 1.1 - Розподілення тиску і профіль мастильного шару в зоні
 контакту циліндричних поверхонь з зовнішнім дотиком

епюра тиску в зоні контакту визначається теорією Герца; розподіл тиску в цьому випадку носить еліптичний характер (крива 3).

2. При обертанні важконавантажених змазаних циліндрів (зона контакта припускається понуреною в мастило) починають діяти закони гідродинаміки і на еліптичну епюру герцовського тиску накладається тиск, який виник під дією гідродинамічного ефекту. Таким чином, щоб визначити тиск у важконавантаженому змазаному контакті, потрібно сумісно вирішити пружну і гідродинамічну задачу.

3. Крива сумарного (герцовського + гідродинамічного) тиску відрізняється від чисто герцовської еліптичної епюри тиску наявністю підвищеного тиску А на вході в зону контакту та гострого піку тиску Б біля виходу із зони контакту.

4. Відмінності кривої сумарного тиску від епюри герцовського тиску зростають з посиленням гідродинамічного ефекту, який виражається характеристикою режиму змащування λ (вираз 1.1), тобто з підвищенням μ і V_{Σ} і зі зменшенням $P_{\text{пог}}$.

$$\lambda = (\mu \cdot V_{\Sigma}) / P_{\text{пог}} \quad (1.1)$$

де μ - в'язкість мастила;

V_{Σ} - сумарна швидкість;

$P_{\text{пог}}$ - погоне навантаження

При малих значеннях крива сумарного тиску майже не відрізняється від герцовської епюри, при високих значеннях ця крива має мало загального з герцовським розподілом тиску (криві 1 і 2, рисунок 1.1, б).

5. Форма зазору і мастильного шару в важконавантаженому циліндричному (або взагалі криволінійному) контакті являється практично плоскопаралельною. Оскільки, у важконавантаженому лінійному контакті деталей машин ширина площадки пружної деформації має звичайно порядок

десятих долей міліметра, а товщина мастильного шару – десятих долей або цілих мікронів, фактично відношення товщини шару до довжини складає $1:100 \div 1:1000$. Це треба мати на увазі при розгляді профілю зазорів на рисунок 1.1, б.

б. На виході з зони контакту під піком Б є місцеве звуження зазору на вигляд плавних уступів (ступенів) на обох поверхнях. Вони являються результатом “розклинення” пружно деформованих поверхонь в області падаючого тиску і створюють підпір тиску на виході з зони контакту, де перешкоджають гострому його обриву, який привів би до порушення суцільного потоку мастила. Зазор в цьому місці звужується на 10 – 25 % [1].

В цілому можна визнавати, що у важконавантаженому контакті при не дуже високих швидкостях кочення розподілу тиску в мастильному шарі близько до герцовського. Максимальний тиск в мастильному шарі можна приймати, без великої помилки, рівним максимальному контактному тиску по Герцу.

Зважаючи на значний тиск в мастильному шарі видно, що в'язкість мастил при атмосферному тиску має мало загального з фактичним станом мастил в зоні контакту. В зв'язку з цим, має важливе значення характер залежності в'язкості мастил від тиску, який визначається п'єзокоефіцієнтом α (таблицю 1.1).

Можна вважати, що у важконавантаженому герцовському контакті мастил, у всякому випадку в середній частині зазору, де тиск найбільш великий, знаходиться у квазітвердому стані; у крайніх ділянках зазору мастил, очевидно, зберігає поточність, але в'язкість його зростає в сотні або тисячі раз у порівнянні з в'язкістю при атмосферному тиску.

Значний інтерес викликає пік тиску в мастильному шарі біля виходу із зони конктату. Його значна крутизна і висота нерідко перевищує висоту напівеліпсу герцовської напруги, мають суттєве значення, з точки зору впливу на поверхні шари деталей, що труться, та їх стомлену довговічність.

Таблиця 1.1 – Значення п'єзокоефіцієнта в'язкості α декількох типичних мастил та інших рідин

Мастила	В'язкість		$\alpha \cdot 10^3$ см ² /кГ
	в спз	при темпе- ратурі в ° С	
Керосин	1,9	27	1,07
Гліцерин	200,0	34	0,57
Косторове	2660,0	38	1,44
Нефтяне :			
турбинне	30,0	38	1,96
моторне	40,0	38	2,44
	7,0	82	2,07
з високим індексом в'язкості	56,0	38	2,19
	10,6	82	1,81
з низьким індексом в'язкості	77,0	38	2,72
	11,7	82	1,96
моторне			
циліндрове	105,0	38	3,15
Turbo 33 фірми Shall ¹	442,0	54	2,42
	84,0	30	2,25-2,05
Tellus 23 фірми Shall ²	8,5	90	1,53-1,45
	16,5	50	1,70-1,58
Tellus 69 фірми Shall ²	4,5	100	1,34-1,22
	80,0	50	2,00-1,98
	13,5	100	1,52-1,43

¹ Величини α вираховані по даним [6] та приведені для тисків від 350 (великі значення) до 1050 кГ/см² (менші значення).

² Величини α вичисленні по даним фірми Shall для тисків від 350 (більші значення) до 1400 кГ/см² (менші значення).

Наявність піку біля виходу з зони контакту відзначається авторами більшості теоретичних досліджень в області контактної-гідродинамічних теорій. Однак, це не підтверджено дослідниками, у зв'язку з великими труднощами даних експериментів.

Для визначення основного параметру рідинної змазки - товщини мастильного шару були запропоновані вперше Ертелем і Грубіним [7], а потім Петрусевичем [8], а потім іншими авторами; теоретичні формули однакової структури, не значно відрізняються коефіцієнтами і показниками ступеню величин, які входять до них [1].

Всі ці формули дійсні для лінійного контакту при ідеальному коченні. Вони мають бути приведені до такого вигляду:

$$h = A \cdot (\mu_o \cdot V_{\Sigma})^a \cdot \alpha \cdot (E') \cdot \rho \cdot P_{\text{пог.}} \quad (1.2.)$$

де h - товщина мастильного шару в точці найбільшого тиску

(h_o) або найбільшого звуження (h_{min});

A - коефіцієнт згідно табл.1.2;

$V_{\Sigma} = V_1 \pm V_2$ - алгебраїчна сума окружних швидкостей, тобто швидкостей кочення циліндрів (при обертанні двох циліндрів в зоні контакту однакових напрямках береться знак $+$, при протилежних напрямках в зоні контакту знак $-$);

μ_o - динамічна в'язкість мастил при атмосферному тиску і об'ємній температурі при вході до зони контакту;

α - п'єзокоефіцієнт в'язкості;

E' - приведений модуль пружності;

ρ - приведений радіус кривизни;

$P_{\text{пог.}}$ - погонне навантаження (за одиницю довжини в осьовому напрямку);

Приведений модуль пружності визначається залежністю :

$$1/E = 1/2 \cdot [(1-\nu_1^2)/E_1 + (1-\nu_2^2)/E_2] \quad (1.3.)$$

де ν_1, ν_2 - коефіцієнти Пуассона;

E_1, E_2 - модуль пружності матеріалу циліндрів.

Формула (1.2) показує, що на величину h суттєво впливають параметри мастил: в'язкість при атмосферному тиску поверхонь та сумарною швидкістю кочення. Модуль пружності та навантаження впливають на h дуже слабо [1].

Представляє інтерес порівняння несучої здатності змащувальних поверхонь, розрахованої по класичній теорії і по контактній-гідродинамічній

теорії в різних передумовах. Таке порівняння приведено в таблиці 1.2, де несуча здатність в запропонованні абсолютно жорстких поверхонь і в'язкості мастил, які не залежать від тиску і температури, прийняте за одиницю. З таблицею 1.2 бачимо, що витончений розрахунок на основі контактної-гідродинамічної теорії показує несучу здатність в 70 раз більше, ніж при розрахунку по класичній теорії.

Таблиця 1.2 - Приклад відносної несучої здатності¹ змазаних поверхонь у важконавантаженому контакті, розрахований з обліком впливання різних факторів [9] ($\mu_0 = 5,4$ спз; $V\Sigma = 2,5$ м/сек.; $\rho = 76$ мм; $h_{\min} = 0,1$ мкм)

В'язкість мастила	Відносна несуча здатність при поверхнях тертя	
	абсолютно жорсткі	пружні
Постійна	1,0	3,2
Залежна від тиску в мастильному шарі	2,3	85,3
Залежна від тиску і температури в мастильному шарі	1,7	69,9

¹ Під несучою здатністю припускається навантаження $R_{\text{пог.}}$, при якій $h_{\min} = R_{z1} + R_{z2}$, де R_{z1} , R_{z2} – найбільша висота нерівностей поверхонь

1.3 Мастильний шар у важконавантаженому контакті при коченні з ковзанням

Для товщини мастильного шару при ідеальному коченні пропонується, що мастильний потік ізотермічний, тобто в зазорі не відбувається нагрівання мастила, яке мало зменшити його в'язкість у порівнянні з в'язкістю при вході в зону контакту.

Це справедливо для тертя кочення, коли нагрівання мастила незначне і виникає при вході в зону контакту. Тому величину μ_0 при чистому коченні

можна прийняти, як в'язкість мастила при його об'ємній температурі при вході до зони контакту.

Однак у реальних деталей машин кочення завжди супроводжується ковзання. Можливі два випадки :

1. Коли швидкості обох поверхонь в точці контакту рівні та їх вектори в цій точці мають однаковий напрямок (випадок технічно “чистого” кочення, наприклад, роликів по кільцям підшипників кочення або зубців шестерні в полюсі зачеплення). В цьому випадку ковзання є наслідок пружних деформацій поверхонь тертя, які приводять до зміни теоретичного лінійного (або точечного) контакту контактом по площі. В результаті виникає просковжування на всіх точках цієї площі, крім тих, де існує рівність окружних швидкостей, контактуючих тіл.

Швидкість ковзання на площах контакту при “чистому” коченні зазвичай незначна, і нагрівання зони контакту мале.

2. Коли у поверхонь, що труться є кінематичне завдане просковжування, як, наприклад, в зубчатих та черв'ячних передачах на головках і ножках зубів, за межами полюсної зони. Швидкість ковзання $V_{ков.}$ в таких випадках може бути значною (близько $V_{ков.} = V_{\Sigma}$, наприклад у кулачкових механізмах з плоским кулачком), отже, значним буде і підігрів зони контакту [1].

Для експлуатації деталей, які працюють при коченні з ковзанням, важливо знати характер впливу швидкості ковзання на закономірності, встановлені для товщини мастильного шару при коченні. Основні відміни ідеального кочення від кочення з ковзанням є в тому, що в останньому випадку при достатньо високій швидкості ковзання коефіцієнт тертя виявляється настільки великим у порівнянні з його значенням при ідеальному коченні, що підвищення температури в зоні контакту від тепла, яке виділяється при терті, може приводити до відчутного зниження в'язкості мастила, яке супроводжується згідно виразу суттєвим зменшенням товщини мастильного шару.

Якщо ковзання в зоні контакту приводить до значного тепловиділення, закономірності, отримані для кочення у припущенні, що μ_0 є в'язкість мастила при його об'ємній температурі при вході до зони контакту, стають недійсними, і необхідно враховувати термічний ефект від ковзання.

В таких випадках величину μ_0 належить приймати, як в'язкість мастила при температурі поверхонь, що труться, яка може значно перевищувати температуру мастила при вході в зону контакту.

Практика показує, що здатність реальних поверхонь при важконавантаженому контакті з ковзанням падає з підвищенням окружної швидкості (тобто зростанням V_{Σ} і $V_{\text{ков.}}$) і навантаження.

Спостерігаючи в реальних умовах негативне впливання швидкості і навантаження на несучу здатність змазаних поверхонь, що труться, означає, що термічний ефект від їх нагрівання при ковзанні переважає над гідродинамічним ефектом, який характеризується формулою (1.2). Звідси треба враховувати, що з підвищенням температури в зоні контакту падає як вихідна (при атмосферному тиску) в'язкість мастила μ_0 , так і величина п'єзокоефіцієнту в'язкості α .

Якщо не враховувати залежність в'язкості мастила від температури поверхонь, що труться, яка звичайно невідома, а виходити з в'язкості при об'ємній температурі мастила у змащувальному механізмі, виходе залежність товщини мастильного шару від швидкості та навантаження, відмінна від залежності згідно виразу (1.2). Наприклад, досліди О'Доногю і Камерона на роликовій машині показали лінійну залежність товщини мастильного шару від навантаження $P_{\text{пог.}}$, в той час як згідно вона повинна бути пропорційною $P_{\text{пог.}}$ в ступені від -0,09 до -0,20.

Ілюстрацією впливання швидкості ковзання на товщину мастильного шару може бути рисунок 1.6, де криві 1 - 3 показують закономірне впливання швидкості кочення та навантаження (при $V_{\text{ков.}} = 0$) на товщину мастильного шару h_0 . Робота з ковзанням (крива 4) приводить до різкого

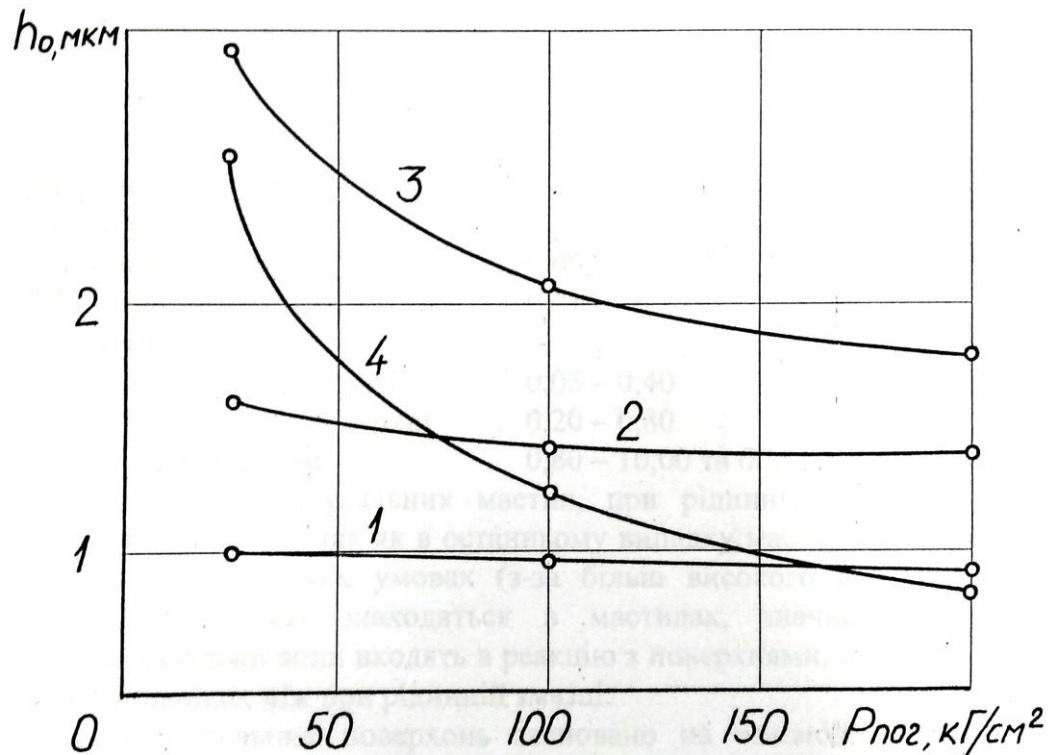
зменшення h_0 , яке проходить із збільшенням навантаження набагато швидше, ніж при чистому коченні [1].

Закономірності, які виражені вираз (1.2) для випадку ідеального кочення, залишаються справедливими також при коченні з ковзанням, поки перевищення температури поверхонь, що труться, над об'ємною температурою мастила залишається незначним і тепло тертя встигає відводитися в об'єм тіл, що труться. Цим пояснюється, що задирання змазаних поверхонь проходить при їх неусталеній температурі, коли нагрівання деталей, що труться, виникаючи після прикладеного навантаження, досягає критичної величини, при якій товщина мастильного шару є менше суми висоти $(R_{z1} + R_{z2})$ нерівностей обох поверхонь. Якщо задирання не виникне до досягнення встановленої температури, то нема причин (якщо умови тертя и стан поверхонь постійні), в силу яких воно могло б виникнути в подальшому.

Зважаючи на те, що мастила мають низький коефіцієнт теплопровідності, в мастильному шарі при ковзанні виникають градієнти температури, причому максимальна температура виникає в середній площині мастильного шару і може на декілька десятків (максимум 80-100°C) перевищувати температуру поверхонь, що труться [10, 11].

Температура мастильного шару не впливає на його товщину (оскільки остання залежить від температури поверхонь, що труться), але визначає термічну напруженість роботи мастил у важконавантаженому контакті.

Повторно-перемінний дуже короткочасний місцевий підігрів поверхонь, що труться, зосереджений у вузькій зоні лінійного або точечного контакту, може створювати в них термічне напруження, здатні знижувати їх стійкість проти викришування. Кількісна сторона цього ефекту практично ще не вивчена [1].



1 - $V\Sigma = 4$ м/сек, $V_{ков} = 0$; 2 - $V\Sigma = 12$ м/сек,

$V_{ков} = 0$; 3 - $V\Sigma = 23$ м/сек, $V_{ков} = 0$; 4 - $V\Sigma = 12$ і 18 м/сек з ковзанням

Рисунок 1.2 - Залежність товщини мастильного шару h_0 від навантаження P_{nog} і швидкості (досліди на роликівій машині)

Дослідження М.В. Райко [12] показали значне розходження як в абсолютній товщині мастильного шару, так і при впливанні різних параметрів. Ним встановлено збільшення товщини мастильного шару у порівнянні з розрахунками при малих швидкостях та підвищених, а також те, що даний ефект поліпшення мастильної дії має явний негідродинамічний характер. Перевищення експериментальної товщини мастильного шару над теоретичною при певних режимах тертя відмічається в роботах [13-15].

Розходження спостерігається та в оцінці ролі інших параметрів, які визначають товщину мастильного шару. Так, при великих швидкостях ковзання, вимірювання показали більшу товщину, чим це треба було чекати з теорії. Суттєвий вплив нев'язких властивостей мастил виявлено при дуже малих товщинах мастильного шару [16].

Дослідниками М.В.Райко та іншими [17] було показано, що існує цілком певна область, в якій відомі формули КГТЗ задовільно погоджуються з експериментами – область помірних швидкостей і навантажень та значень п'єзокоефіцієнтів в'язкості α .

1.4 Режим граничної змазки

Для різних видів зовнішнього тертя характерні слідуючі величини коефіцієнта тертя ковзання:

1. Рідинне тертя	0,002 – 0,010
2. Напіврідинне тертя	0,010 – 0,200
3. Граничне тертя:	
3.1. Змазані поверхні	0,05 – 0,40
3.2. Незмазані поверхні	0,20 – 0,80
4. Ювеніальне тертя	0,80 – 10,00 та більше

Строк служби змащувальних мастил, при рідинній змазці буде довше, ніж при граничній, так як в останньому випадку мастило працює в термічно більш напружених умовах (з-за більш високого коефіцієнту тертя), а присадки, які знаходяться в мастилах, значно швидше виснажується, оскільки вони входять в реакцію з поверхнями, що труться, набагато інтенсивніше, ніж при рідинній змазці.

Тертя змащувальних поверхонь засновано на взаємодії системи метал - змащувальне мастило – метал, яку можна назвати “тріадою тертя” (по аналогії з “парою тертя”, де не враховується змащувальний матеріал).

Успішна робота такої системи (“тріади”) залежить в рівній степені від властивостей всіх трьох партнерів: обох поверхонь, що труться та мастила. Справа тут не тільки в тому, що даже самі найкращі властивості перших двох партнерів будуть некорисні у випадку незадовільних властивостей третього. Сутність самого процесу граничного тертя основана на складній системі взаємодії між всіма трьома партнерами тріади тертя, а ці взаємодії

визначаються впливом багатозначних факторів фізичного, хімічного, механічного, геометричного та кінематичного властивостей.

При **граничному терті** навантаження несе створений на поверхнях, що труться, моно - або у більшості випадків, мультимолекулярний шар змащувальної речовини, яка забезпечує граничну змазку. Роль змащувальної речовини може грати не тільки мастило у цілому або окремі його активні компоненти, але також плівки окисів та інших хімічних з'єднань на поверхнях, що труться [1].

Хімічні плівки тісно пов'язані з металевою підложкою та при їх видаленні неминуче пошкодження поверхонь. З підвищенням температури хімічні плівки потовщуються і руйнуються тільки при досягненні точки плавлення. Всі плівки мають здатність до саморегенерації, якщо зберігаються умови і компоненти для їх відновлення [2].

Для оцінки змащувальної дії граничних мастильних шарів введено поняття мастильності, під яким мається на увазі здатність змащувальної речовини (або сукупність її властивостей, відмінних від в'язкості) забезпечувати змащувальні дії в умовах, коли прошарок змазки достатньо тонкий та її дія визначається не тільки в'язкістю.

Адсорбційні плівки створюють на металевій поверхні в основному під дією сил Ван дер Ваальса. Відомо, що при цьому створюються шари тісно розташованих полярно-активних вуглеводнів. Ці молекули направлені перпендикулярно до поверхні і звернені до неї полярними групами COOH, OH та іншими. До полярних з'єднань, які входять до складу мінеральних мастил, відносять органічні кислоти, спирти, ефіри, смоли, сіркові з'єднання та інші. Вуглеводнева основа мастил не має з'єднань, які здатні до адсорбційного ефекту, виключно ті з'єднання, що збереглися в результаті недоочистки мастила при його виробництві.

Процес створення граничної плівки потікає в такій послідовності: спочатку на активних центрах твердої поверхні одиночні молекули своїми активними групами створюють мономолекулярний шар. Молекули

орієнтовані перпендикулярно до поверхні і звернені зовні неполярними метильними групами СН₃. Після завершення побудовання одного ряду і заповнення всіх активних центрів поверхні інші полярно-активні молекули створюють подальші ряди, які приєднуються своїми метильними групами, як парні дімери, до вільних кінців молекул, вже побудованих в ряди.

На рисунку 1.3 приведена схема створення граничних шарів, які складаються з молекул жирної кислоти ланцюгової структури з однією кінцевою активною групою. Поверхньо-активні речовини, створюючи на металевій підлозці молекулярні частокколи, змушують до подібної орієнтації і неполярні молекули. В загальному випадку напрямлення орієнтації молекул може бути різним і визначається взаємодією активних центрів поверхні і дипольних моментів вуглеводнів. В залежності від цього молекули можуть займати похиле та горизонтальне положення. Над орієнтованими знаходяться хаотично розташовані молекули. Площинами облеженого ковзання є місця розташування метильних груп.

При збільшенні довжини ланцюга молекул вони набувають здатність до нахилу та згибу, внаслідок чого є ще одна цінна властивість таких шарів – здатність до деконцентрації напружень на окремі ділянки шарів поверхні.

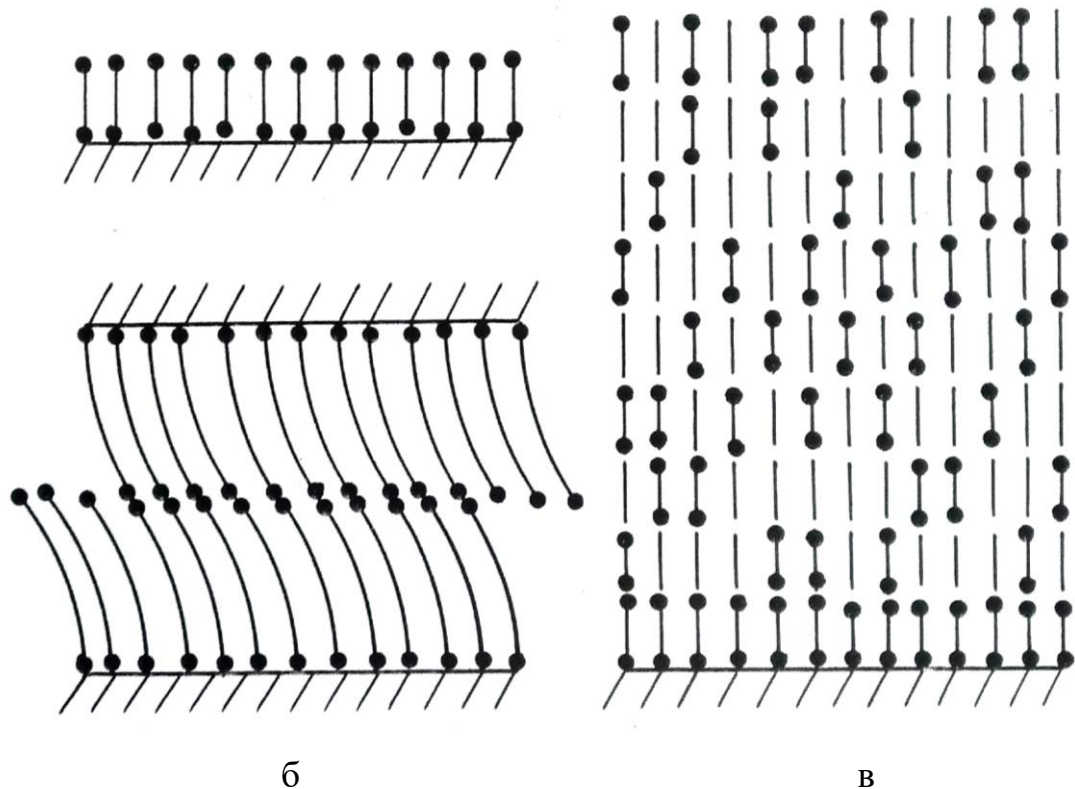
При стисканні граничні шари можуть витримати тиск, рівним декількох тисяч МПа.

Приведений опис являється спрощеним. По даним деяких досліджень, можна розрізняти в граничних шарах пружно-пластичну частину і ділянки зі значно підвищеною в'язкістю. Існує точка зору про наявність в граничних плівках твердообразній, структурній і дифузійній частин.

Товщина та міцність граничних плівок залежить від хімічного складу мастила або присадок, властивостей металу і зовнішньому середовищу [18].

Різноманітністю граничного тертя треба вважати так назване сухе тертя незмазаних поверхонь. Такі поверхні у повітряному середовищі завжди покриті плівками окисів і молекул пару та повітря з атмосфери. Ці плівки

можна розглянути як змащувальна речовина, оскільки вони попереджують безпосередньо металевий контакт.



а – мономолекулярний шар; б – схема згибу молекул при відносному переміщенні поверхонь тертя; в – полімолекулярні шари з участю неполярних молекул.

Рисунок 1.3 - Схема утворення граничних шарів мастила [2]

Для **ювеніального тертя** характерні відсутність різної змазки на поверхнях, що труться та їх безпосередній (“металевий”) контакт.

При контакті ювеніальних поверхонь відбувається їх взаємна адгезія та, як наслідок, схвачування на окремих мікроділянках (у випадку дискретних мікроконтактів) або по площині (у випадку суцільного контакту). Ювеніальне тертя при експлуатації машин треба розглядати як патологічне явище, та його виникнення на змазаних поверхнях означає, що змазка на даній ділянці повністю припинила виконувати свої функції.

Рідинне тертя характеризується тим, що навантаження несе шар мастила, яке знаходиться між поверхнями, що труться, товщина якого в самому вузькому місці h_{\min} перевищує суму максимальних висот нерівностей обох поверхонь $(R_{z1} + R_{z2})_{\max}$.

Отже, при рідинному терті і згідно рідинній змазці поверхонь, що труться повністю відокремлені шаром мастила, тобто умовою рідинного тертя і рідинної змазки є додержання нерівності $h_{\min} > (R_{z1} + R_{z2})_{\max}$.

В практичних умовах одночасно діють різні механізми змазки та в більшості випадків проходить сполучення рідинної та граничної змазки, тобто поверхні, що труться, працюють в умовах напіврідкого тертя [1].

1.5 Змащувальна дія самогенеруючих органічних плівок (СОП)

При підвищених температурах в багатьох випадках змащувальні шари мають відносно велику товщину, яка значно перевищує розраховану по КГТЗ.

М.В. Райко вперше описав цей ефект в 1954 р. [19]. На прикладі мастила “циліндрові 24” була показана можливість утворення на контактних поверхнях в робочих умовах суцільного, твердого шару – органічної плівки – існуючої в широкому діапазоні температур. Зміни коефіцієнту тертя показали, що СОП володіє змащувальними властивостями, але її антифрикційні дії гірше, ніж в’язких мастил.

Пізніше Р.С. Файк та К.Л. Кройц [20], С.В.Чайкін [21], Г.В.Виноградов [22] встановили утворення твердої органічної речовини та її впливання на зношення при ковзанні сталевих деталей в середі ненасичених і ароматичних вуглеводнів, парів гексану та бензину. Утворення вуглеводневої плівки відмічається в роботах О.Ф. Аксьонова [23] та його колег [24,25] утворення СОП спостерігалось у вузлах, імітуючих роботу підшипників кочення в середі авіаційних палив.

Існує багато версій утворення СОП. Так в роботі [20] утворення СОП пояснюється каталізом вуглеводнів на чистих металах. Г.В.Виноградов

пояснює це ефектом окиснення металу і вуглеводнів у зоні тертя. В роботах А.Ф. Аксьонов з колегами викладає думку, що “полімер тертя” утворюється в результаті взаємодії радикалів з окисленими шарами металу.

Проведені дослідження М.В. Райко з колегами [26, 27] привели до припущення, що в основі утворення СОП лежать складні окислювальні та полімеризаційні процеси деяких складаючих мастил з активною співучастю кисню повітря. Ними було встановлено, що СОП зберігає змащувальну здатність при дуже високих температурах (до 240 °С). Одною з важливих якостей СОП є їх здатність до самогенерування при температурах, які значно перевищують критичні температури руйнування адсорбційних та хемосорбційних змащувальних шарів. Здатність мастил генерувати СОП обмежена утриманням в них продуктів, які безперервно витрачаються на відновлення випаровуючої плівки [28, 29]. Зовнішні умови надають значний вплив на процес утворення СОП.

По даним М.В.Райко їх вплив заключається в наступному:

1. Температура контактних поверхонь сильніше всього впливає на утворення СОП.
2. Із збільшенням температури, час до початку утворення СОП зменшується. Значний вплив температури вказують на важливість термічної реакції, яка проходить в контакті.
3. Зміни контактних напруг слабо впливають на утворення СОП.
4. Збільшення швидкості кочення затримує утворення СОП, а збільшення швидкості ковзання створює найбільш благоприємні умови для утворення СОП.
5. Активовані тертям тонкі поверхневі шари металу дуже впливають на інтенсивність утворення СОП.

Поверхнево-активні речовини (ПАР), які додаються в мастило, перешкоджають утворення СОП. В роботі [29] показано, що додавання 0,7% олеїнової кислоти привело до того, що безперервна до цього СОП стала

переривистою. Очевидно, адсорбована активність ПАР і СОП приблизно рівні та олеїнова кислота на окремих ділянках заміщала СОП.

Самогенеруюча органічна плівка володіє високим протизнощувальними та протипіттинговими властивостями, так як перешкоджає доступу хімічних і фізико-хімічних агресивних агентів до поверхні металу.

Таким чином СОП, яка забезпечує особливий вид тертя, переважає інші відомі змащувальні матеріали і види тертя по різноманітності видів зношування та широті умов тертя, в яких проходить змащувальна дія.

1.6 Адсорбція та хемосорбція мастил

У системі з граничною змазкою виникає фізична адсорбція. Полярно активні молекули газової або рідкої середовища, які зіткаються при своєму безпорядному тепловому русі з поверхнею твердого тіла, потрапляють в її електричне силове поле і приєднуються до її активних центрів, формуючи адсорбовані шари орієнтованих молекул [1].

Дія електричного поля при цьому носить двоякий характер: по-перше, воно прагне орієнтувати полярні молекули (тобто молекули, які мають жорсткий дипольний момент) в напрямку поля, чому протидіє безпорядний тепловий рух молекул; по-друге, воно збільшує поляризацію молекул з жорстким дипольним моментом і індукує такий момент у неполярних молекул. Останні, внаслідок цього, можуть також адсорбуватися, але сили їх адсорбції малі і створюють ними шари відносно нестійкі.

Можливі два види випадків адсорбції:

1. Фізична адсорбція, яка виникає під дією сил ван дер Ваальса, які діють:

а) центрами поверхні твердого тіла і активними центрами (полярними функціональними групами атомів) молекул, безпосередньо з нею стічних і створюючих при адсорбції на поверхні металу або окисної плівки орієнтуєчий мономолекулярний шар граничної змазки. При цьому в залежності від структури молекул і розташування їх активних центрів

орієнтація може бути вертикальною (стійке положення молекул у вигляді короткого ворсу) або горизонтальної (лежаче положення молекул); можливі також проміжкові форми орієнтації (рисунок 1.4). Молекули неполярних вуглеводнів, слабо або зовсім не адсорбуються на металевій поверхні, характеризуються лежачим положенням;

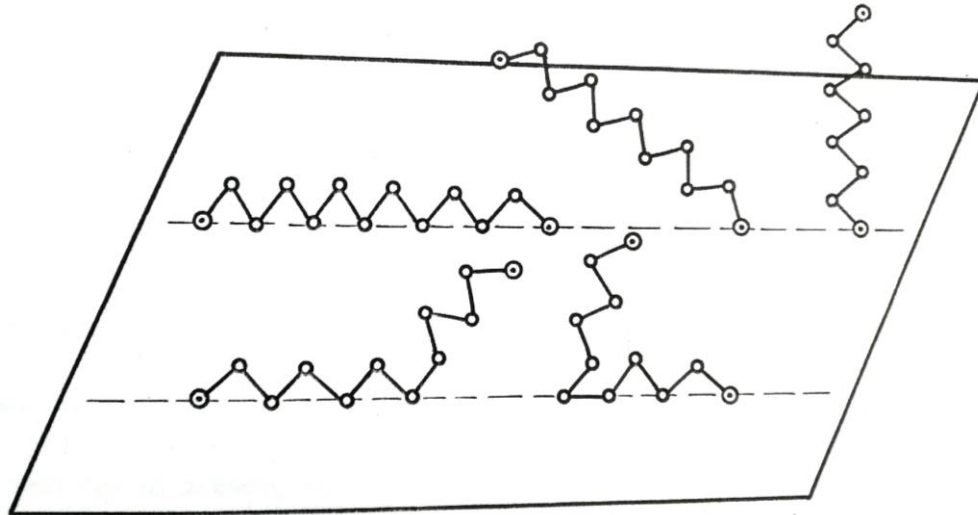


Рисунок 1.4 - Орієнтація полярних молекул з різним положенням активних груп при адсорбції на твердій поверхні (по Ахматову) [2].

б) між молекулами цього мономолекулярного шару, адсорбованими на твердій поверхні, і молекулами навколишнього середовища, які приєднуються до молекул первинного адсорбованого шару, створюючи разом з ними мультимолекулярний шар граничної змазки у вигляді довгого ворсу або інших структур.

2. Хімічна адсорбція (хемосорбція), яка виникає під дією сил хімічного зв'язку між матеріалом поверхні твердого тіла (металом або окиснем) і адсорбуючими на ній під дією сил ван дер Ваальса молекулами. Таким чином, при хемосорбції спочатку виникає фізична адсорбція молекул з середи, потім їх хімічна реакція з поверхнею.

Між обома видами адсорбції існує принципова різниця. Фізична адсорбція оборотня. Зв'язок між адсорбованою поверхнею і адсорбованою речовиною (рідиною або газом) може бути привняно легко порушена шляхом

теплової дії або дією розчинника, в результаті чого виникає десорбція молекул і відновлюється в початковий стан поверхні твердого тіла.

Хемосорбція необоротня. Між поверхньою і адсорбованими молекулами виникає міцний хімічний зв'язок з утворенням нового з'єднання на поверхні твердого тіла, який володіє стійкістю до зовнішньої дії, незрівняно більш високою, ніж фізично адсорбовані молекулярні шари.

Міцність зв'язку адсорбованих молекул з поверхньою може бути самою різноманітною, в межах від самих слабких зв'язків при фізичній адсорбції до самих сильних хімічних зв'язків, які виникають в результаті хемосорбції [1, 2].

Явище адсорбції і хемосорбції мають важливе значення для процесів змазки і зв'язку з утворенням плівок на поверхні тертя.

1.7 Утворення адсорбційних плівок вуглеводневими рідинами

Розглядаючи в даному аспекті структуру молекул вуглеводнів нафти та їх важливіших похідних, які входять в склад змащувальних мастил різних типів, ми бачимо, що основні компоненти мастил – парафінові, нафтеніві та ароматичні вуглеводні складаються з полярно інертних молекул, які самі не здатні створювати адсорбовані шари на твердих поверхнях.

Зате багато похідних вуглеводнів мають в складі своїх молекул активні групи атомів, які утримують O, S, N та інші елементи; внаслідок чого у більшості випадків вони володіють дипольними моментами різних величини, отже, їх молекули являються полярними і можуть створювати адсорбовані шари великої або меншої міцності.

З числа похідних вуглеводнів найбільшу полярну активність мають сполучення, молекули яких утримують карбоксильну групу COOH. Полярну активність мають також вуглеводневі групи, у склад яких входять атоми сірки, азоту та деяких інших елементів. В той час чисто вуглеводневі групи, в тому числі метиленові (CH₂) і метильні (CH₃), полярно інертні, їх дипольний момент рівний нулю [1, 2].

Оскільки вуглеводнева основа нафтових мастил не утримує полярних молекул і, отже, не здатна забезпечити адсорбційний ефект за рахунок орієнтаційних сил ван дер Ваальса, уявлялось би, що вона не може бути ефективним змащувальним матеріалом в умовах граничного тертя. Але нафтові мастила, які не утримують присадок виконують змащувальні функції достатньо успішно, якщо тільки робота поверхонь, що труться, проходить не в дуже напружених умовах. Це можна пояснити наступними причинами:

1. Впливом окиснювального ефекту.
2. Індукуванням дипольного моменту, тобто поляризацією частини вуглеводнів під дією силового поля твердої поверхні.

Нафтові та особливо парафінові вуглеводні поляризуються дуже слабо. Швидкість адсорбції залежить від властивостей твердої поверхні (адсорбенту) і адсорбованих речовин, а також від зовнішніх умов. Вона зростає із збільшенням концентрації адсорбованих речовин навколишнього середовища (наприклад, полярно активних компонентів мастила в полярно інертній вуглеводневій основі).

Мультимолекулярна адсорбційна плівка, яка знаходиться під дією силового поля твердої поверхні, може розглядатися як квазитверде багат шарове кристаличне утворення [2, 30], яка володіє рядом специфічних властивостей, з яких найбільш важливими є висока міцність на стиснення і пружність. Під дією тангенціальних сил тертя мультимолекулярні адсорбовані шари пружно деформуються, що сприяє їх порівняно невисокому опору здвигу поверхонь, що труться.

Товщина мультимолекулярної адсорбованої плівки і число складаючих її моношарів залежать від вільної енергії твердої поверхні, отже, від її природи, і від характеру покриваючої її плівки окиснів, яка екранує силове поле поверхні.

При граничному терті ковзання здійснюється по площині найлегшого зміщення, якими служать поверхні, створені кінцевими метильними (CH_3) групами цінних молекул. Зв'язки між цими неполярними групами є слабким

місцем мультимолекулярного шару полярно активних молекул, які мають будову у вигляді відкритих ланцюгів [1, 2].

Таким чином, адсорбовані плівки, які складаються з полярних молекул ланцюгової будови, володіють дуже високою міцністю на стиснення, високою пружністю при наявності нормального тиску і забезпечують можливість легкого ковзання в результаті здвигу по площинам, які створюються метільними кінцевими групами в молекулах.

Висновки до розділу 1

1. Дослідження вуглеводневих рідин це важливий етап формування мастильних матеріалів. Вуглеводневі рідини є базовими що входять до любих олив. Визначення змащувальної дії рідин, товщини мастильного шару та температурний діапазон роботи дозволить формувати мастильні матеріали для конкретної задачі окремо.

2. Вивчення процесів формування вуглеводневих ланцюгів на поверхнях дозволить правильно розуміти природу утворення вторинних структур та само генеруючих плівок на поверхнях деталей.

РОЗДІЛ 2

МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗМАЩУВАЛЬНОЇ ДІЇ МАСТИЛЬНИХ РІДИН В УМОВАХ ТЕРТЯ ПОВЕРХОНЬ З ЛОКАЛЬНИМ КОНТАКТОМ

2.1 Методи визначення товщини змащувального шару в контактї тертя

Сучасні змащувальні матеріали експлуатуються при дуже напружених механічних і термічних режимах. Значно зросли контактні напруга і температура мастила в зоні контакту поверхонь, що труться, швидкосні режими.

Найбільш ефективним методом, яке характеризує змащувальну дію мастил і змазок, являється вимірювання товщини змащувальних шарів. С.В.Пінегін [35] відмітив, що одною з основних задач в області підвищення стійкості до зношування поверхонь, що труться, являється створення методів вимірювання товщини змащувальних шарів.

Вимірювання товщини змащувальної плівки внесло великий внесок до розвитку КГТЗ і в значній мірі сприяло успіхам в області змазки підшипників.

Дослідниками багатьох вітчизняних та зарубіжних авторів показало, що нестационарні процеси, зокрема пуски і зупинки, надають значне впливання на надійність і довговічність машин і механізмів.

Для визначення ефективності змащувальної дії мастил, змазок і вуглеводневих рідин в період пуску примінювали метод визначення питомої роботи тертя. Реєстрація параметрів, яка характеризує зміни товщини змащувального шару і питомої роботи тертя в процесі пуску, дозволяє по новому підійти до питання про класифікації змащувальних матеріалів по їх пусковим властивостям.

Змащувальний шар у важконавантаженому контакті дуже тонкий, його товщина сумірна з величиною шершавості, нерівності, деформації, вібрації поверхонь тіл, що труться і мають дуже малу протяжність у напрямку руху.

На даний час для вимірювання товщини змащувального шару в контакті примінюється декілька методів. Для оцінки можливостей кожного з існуючих методів має велике значення класифікація по фізичним процесам:

1. Індукційний [36]
2. Інтерференційний [37]
3. Люмінесцентний [38]
4. Механічний [39]
5. Магнітний [40]
6. Рентгенівський [41]
7. Електричні

Серед електричних можна виділити:

- 7.1. Опір [42]
- 7.2. Пробоя [43]
- 7.3. Ємкісний [39]
- 7.4. Падіння напруги [44]

На практиці для дослідження змащувальних шарів в зоні контакту отримали розповсюдження електричні методи з приводу цілого ряду переваг та простоти.

Сутність електричних методів полягає у вимірюванні параметрів електричного струму, який підводиться до змащувального шару в зоні контакту.

Дослідження пробивної напруги вуглеводневих рідин та електричного опору показали, що ці параметри в значній степені залежать від групового складу вуглеводневих рідин: степені очистки, продуктів зношення, температури, вмісту вологи в мастилі та інше.

Серед електричних методів визначення товщини змащувального шару найбільш ефективним є метод вимірювання падіння електричної

напруги (ВПН). Згідно даних В.Брікса, М.В.Райко та інших дослідників, цей метод не має тих проблем, які виникають в ємкісних та інших електричних методах, коли при товщині змазки менше 5-9 мкм точність вимірювання товщини змащувального шару значно зменшується, так як мастила втрачають свої діелектричні властивості.

Дані про існування прямої залежності між товщиною мастильної плівки і падінням на ній електричної напруги вперше привів Л.В.Єлін в 1940 р. [45].

На практиці вимірювання падіння електричної напруги для визначення товщини змащувального шару вперше використав В.Брікс [46] в 1947 р. Цей метод був приміненений для дослідження змазки підшипників ковзання.

Для дослідження змазки контактних поверхонь метод ВПН був вперше застосований М.В.Райко в 1949 р. У подальшому цей метод використали такі вчені, як А.Камерон, П.С. Зак, М.С. Тривайло, В.П. Кадомський, В.М. Павлов, В.С. Білоус.

Процес вимірювання товщини змащувального шару методом ВПН полягає в наступному:

1. Встановлення в змащувальному шарі між контактними поверхнями певного режиму електричної провідності – режим нормального тліючого розряду (НТР).
2. Вимірювання величини падіння електричної напруги на змащувальному шарі ΔU .
3. Перерахування значень ΔU в товщині змащувального шару по спеціальним тарировочним залежностям.

Проведені М.В.Райко експерименти показали, що при процесі тертя контактних поверхонь нормальний тліючий розряд існує при силах струму від 0,3 ÷ 1,5А до найбільших, які досягають в експериментах 50 А. На базі цих даних, а також враховуючи теплове і полеризоване дії струму, рекомендується проводити вимірювання при силі струму в 1,5 ÷ 2,0 А. [29].

Застосування методу ВПН в режимі НТР в різних умовах тертя, дозволило виявити дві важливих ознаки:

1. Можливо вимірювати не тільки загальну товщину, а також гідродинамічну, граничну і органічну складників змащувального шару.

2. Метод ВПН дозволяє дослідити дії різних хімічно-активних присадок. [29].

Обґрунтування вибору електричного режиму для вимірювання товщини змащувального шару дали М.В.Райко і В.М.Павлов. Ними встановлено, що:

1. Результати вимірювання падіння напруги в умовах нормального тліючого розряду мало залежать від властивостей і стану (вологості, окиснення) змащувальних рідин.

2. Примінення методу ВПН в режимі НТР не впливає на змащувальну дію і стійкість до зношення поверхонь, що труться.

3. Продукти зношення, які входять до змащувальних рідин, але впливають на величину падіння напруги ΔU .

4. Електронний характер провідності ВПН в режимі НТР забезпечує безінерційність і високу чутливість вимірювань.

5. В тонкому змащувальному шарі можливий стійкий нормальний розряд, який підпорядковується закономірностям нормального тліючого розряду (закон Пашина і Геля):

5.1. Величина падіння напруги ΔU пропорційна товщині змащувального шару h .

5.2. Величина падіння напруги ΔU не залежить від площі контакту.

5.3. Зміни температури вуглеводневих рідин та інших мастил в широкому діапазоні не впливають на величину падіння напруги.

Після порівняння результатів вимірювань товщини змащувального шару методом, який вважається більш точним, і механічним методом, виконані В.М.Павловим та М.В.Райко, показали, що розбіжності не перевищують 5 %. [29, 47].

2.2 Метод вимірювання падіння електричної напруги в режимі нормального тліючого розряду

Товщина змащувального шару при локальному контакті з просковжуванням поверхонь, що труться, в роботі визначається методом вимірювання падіння напруги (ВПН) в режимі нормального тліючого розряду (НТР). Електрична схема вимірювання товщини змащувального шару при локальному контакті з ковзанням поверхонь, що труться, методом ВПН в режимі НТР представлена на рисунку 2.1.

Характеристика залежності падіння електричної напруги на мастильній плівці від струму, який пропускається через неї, нелінійна на початку координат, але після досягнення напруги стійкого розряду вона стає лінійною. Це відрізняє електричну провідність мастильної плівки від електричної провідності металів, для яких залежність між падінням напруги на них і силою струму лінійна при всіх величинах струму. Лінійна залежність падіння напруги від струму в елементах електричного ланцюга відповідає встановленому НТР в мастильному шарі, коли при зміні сили струму змінюється лише густина струму, а падіння напруги на мастильному шарі залишається постійною.

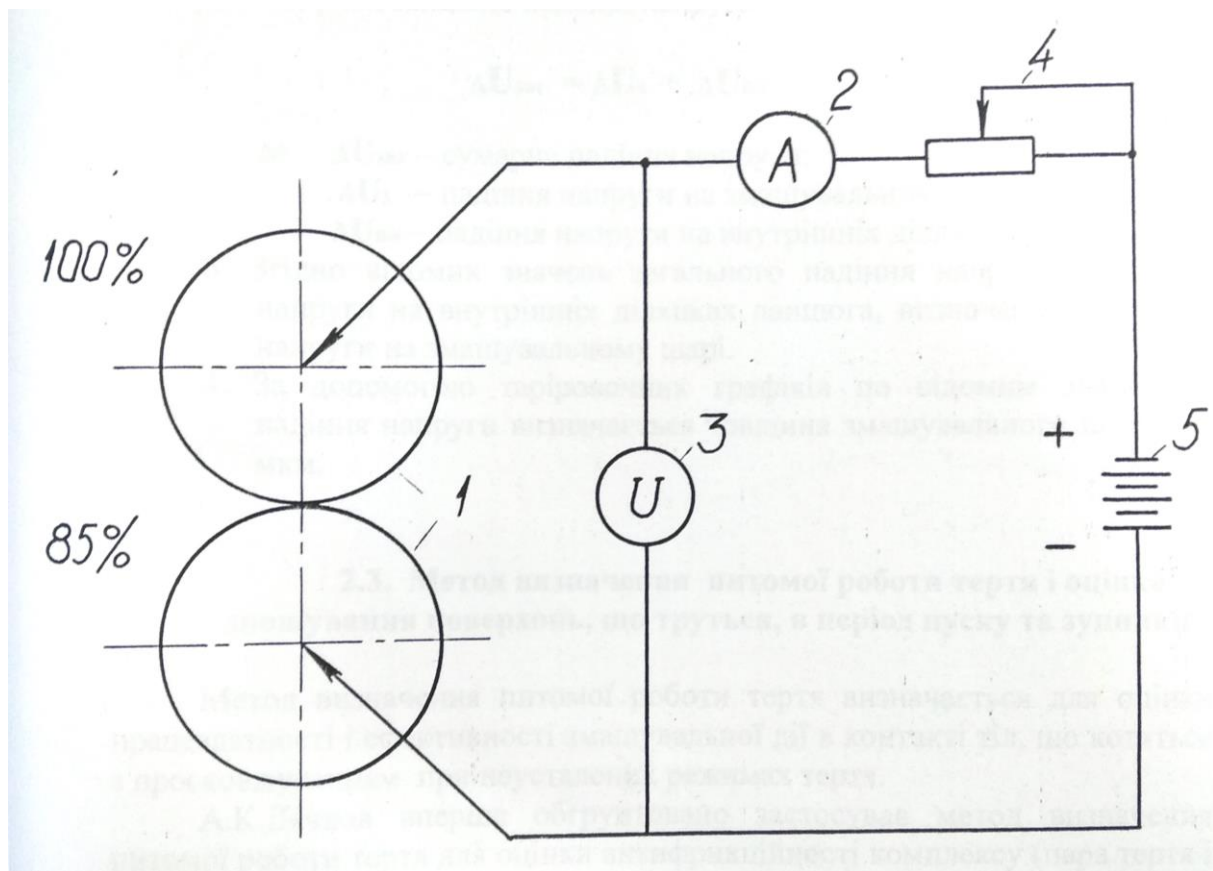
В.М.Павлов [47] і М.В.Райко [29] у своїх дослідженнях встановили, що параметри розряду і характер вольтамперних характеристик залишаються постійними при гідродинамічному змащувальному шарі і при існуванні твердообразної органічної самогенеруючої плівки.

Для того, щоб перерахувати падіння напруги на змащувальному шарі в його товщину, будується торіровочний графік залежності падіння напруги на змащувальному шарі в режимі НТР від його товщини [29, 47, 48, 49].

Даний метод вимірювання товщини змащувального шару був доопрацьованим такими вченими, як: М.В.Райко, І.І.Бавін, В.Б.Мельник, Р.Г.Мнацаканов, О.І.Волошин та примінений не тільки на роликовій аналогії, але і на підшипниках кочення.

Щоб запобігти сильного нагрівання змащувального шару всі вимірювання товщини змащувального шару проводились при силі струму $1,5 \div 2,0$ А.

При довготривалих експериментах можливе окислення контактів з'ємників струму, або попадання в них мастила, що відображається на точності вимірювань. Отже, перед кожним вимірюванням товщини змащувального шару проводиться зачищення контактів, їх стан необхідно постійно контролювати візуально.



1 – досліджуємі зразкі; 2 – амперметр; 3 – вольтметр; 4 – регулюючий реостат; 5 – акумуляторна батарея.

Рисунок 2.1 - Принципова електрична схема вимірювання товщини змащувального шару в контактї тертя по методу вимірювання падіння напруги в режимі нормального тліючого розряду

Методика вимірювання товщини змащувального шару методом ВПН в режимі НТР заключається в наступному:

1. Виміряти падіння напруги на внутрішніх ділянках ланцюга, які складаються з роликів, провідників і з'ємників струму при силі струму 1,5 ÷ 2,0 А при сухих роликах (у відсутності змащувального шару).

2. Встановити режим нормального тліючого розряду в змащувальному шарі, який розділяє поверхні, що труться і виміряти загальне падіння напруги:

$$\Delta U_{\text{заг}} = \Delta U_{\text{з}} + \Delta U_{\text{вн}} \quad (2.1.)$$

де $\Delta U_{\text{заг}}$ – сумарне падіння напруги;

$\Delta U_{\text{з}}$ – падіння напруги на змащувальному шарі;

$\Delta U_{\text{вн}}$ – падіння напруги на внутрішніх ділянках ланцюга.

3. Згідно відомих значень загального падіння напруги і падіння напруги на внутрішніх ділянках ланцюга, визначається падіння напруги на змащувальному шарі.

4. За допомогою таріровочних графіків по відомих значенням падіння напруги визначається товщина змащувального шару h в мкм.

2.3 Метод визначення питомої роботи тертя і оцінка зношування поверхонь, що труться, в період пуску та зупинки

Метод визначення питомої роботи тертя визначається для оцінки працездатності і ефективності змащувальної дії в контактні тіл, що котяться з просковзуванням при неусталених режимах тертя.

А.К.Дячков вперше обгрунтовано застосував метод визначення питомої роботи тертя для оцінки антифрикційності комплексу (пара тертя і змащувальний матеріал) [50].

Величина питомої роботи тертя досліджується на етапі від початку руху до настання стабілізації моменту тертя, коли його величина носить монотонно-зменшуючий характер. Питома робота тертя визначається шляхом

обробки запису величини моменту тертя на розглядаємому етапі. Момент тертя M має максимальне значення при порушенні з місця (переріз 1-1) і потім знижується по мірі того, як починає рости товщина змащувального шару вуглеводневих рідин ΔU (рисунок 2.2). При подальшому рості товщини змащувального шару в момент тертя досягає мінімального значення (переріз 2-2). Подальший розвиток процесу пуска може супроводжуватися деякими коливаннями величини моменту тертя у відповідності з процесами, попередніми стабілізації температурного режиму змащувального шару.

Щоб отримати величину роботи сил тертя, необхідно знати їх величину в залежності від шляху, який пройшли зразки. Для цієї цілі на вал із зразком розміщується барабан, який має контактори розташовані через 2° .

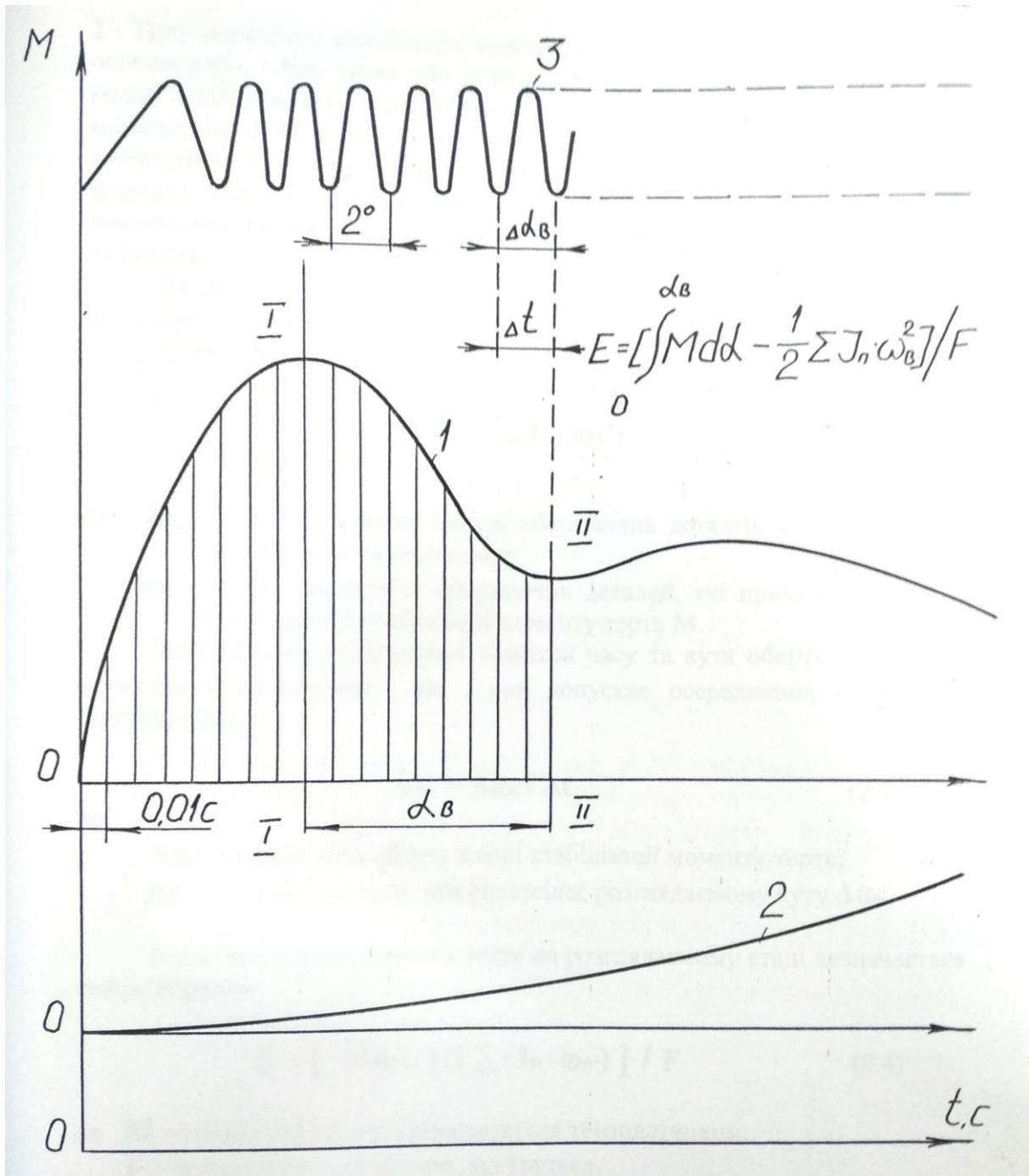
При замиканні контактора електричний сигнал поступає на шлейфи осцилографа. Одночасно на осцилограмі даються відмітки часу через кожні $1/100$ або $0,01$ сек. Осцилограма дозволяє побудувати залежність моменту тертя M від кута поворотів зразків α , починає від стартування і завершуючи кутом α_β (переріз 2-2) (рисунок 2.2). Площа, яка обмежена кривою моменту тертя і віссю абсцис в межах: зрушування з місця $\alpha = 0$ і завершуючи кутом α_β пропорційна роботі, яка витрачена при руху зразків на розглядаючій ділянці.

Ця робота витрачена на подолання сил тертя в змащувальному шарі, на створення кінетичної енергії обертаючих деталей (зразки, вали та інше).

Кінетична енергія обертаючих деталей визначається виразом:

$$E_k = 1/2 \cdot \sum(J_n \cdot \omega_n^2) \quad (2.2)$$

де J_n – полярний момент інерції обертаючих деталей, які охоплюються вимірювальним пристроєм;



1 – зміна моменту тертя M ; 2 – зміна падіння електричної напруги ΔU на змащувальному шарі; 3 – відмітка шляху, по якому пройшли контактуючі поверхні з інтервалом в 2° повороту роликів.

Рисунок 2.2 - Осцилограма з записом змін моменту тертя M та падіння електричної напруги ΔU на змащувальному шарі на початку періоду пуску

ω_0 – кутова швидкість обертаючих деталей, які приведені в рух та відповідаюча стабілізації моменту тертя M .

Наявність на осцилограмі відміток часу та кута оберту зразків дає можливість визначення ω_0 , яке допускає осереднення на малому інтервалі часу:

$$\omega_0 = \Delta\alpha_B / \Delta t \quad (2.3)$$

де $\Delta\alpha_B$ - відлік кута оберту в зоні стабілізації моменту тертя;

Δt - величини часу, яка відповідає розглядаємому куту $\Delta\alpha_B$

Величина питомої роботи тертя на розглядаємому етапі визначається таким виразом:

$$E = [M d\alpha - 1/2 \sum (J_{\Pi} \cdot \omega_B^2)] / F \quad (2.4)$$

де M – момент тертя, який реєструється тензодатчиком;

F - площа контакту зразків, які труться.

2.4 Установка для дослідження пусків і зупинок на змащувальну здатність вуглеводневих рідин

Для дослідження змащувальної здатності вуглеводневих рідин застосовувалась машина тертя СМЦ-1, яка переобладнана у відповідності з метою дослідження та вимогами методів вимірювання. Машина використовувалась, як одноконтактна дворіликівна, працююча по замкненому контуру. Схема установки була представлена на рисунку 2.1.

Робота установки здійснюється по командам, які надходять від спеціального управляючого електронного блоку (УЕБ).

Застосування УЕБ значно поширює функціональні можливості установки.

Комплекс СМЦ-1-УЕБ дозволяє:

1. Встановлювати різні режими пуску впродовж від 1,0 до 10 сек. з різними кінцевими умовами встановленого режиму.
2. Задавати умови навантаження. Відмінною особливістю установки являється можливість підтримувати стабільною частоту обертання зразків при зміні навантаження.
3. Встановлювати частоту обертання випробувальних зразків для встановленого режиму роботи від 1,67 до 16,67 сек.⁻¹ і тривалістю від 1 хв. до 9 год.59 хв.
4. Встановлювати різні режими зупинки тривалістю від 1,0 до 10 сек.
5. Багаторазово повторювати цикли пуск - зупинка або пуск - встановлений режим - зупинка в ідентичних умовах.

Комплекс СМЦ-1-УЕБ дозволяє відтворювати умови тертя періодично і довготривало працюючих механізмів і досліджувати:

1. Зношення, змащувальну дію, динамічну в'язкість та інше.
2. Зміни експлуатаційних характеристик змащувальних матеріалів при різних режимах.
3. Пластичні змащувальні матеріали в періодично працюючих механізмах.

В двигуні на удосконаленій машині використовувався генератор постійного струму типу ГСК-1500, керування потужністю, на якому відбувається цифровим методом.

Для здійснення вимірювання товщини змащувального шару в контакті при допомозі методу ВПН в режимі НТР нижній ролик, шляхом встановлення текстолитової втулки та прокладки, був ізольований від маси.

Живлення електричного ланцюга вимірювання товщини змащувального шару здійснюється від авіаційної акумуляторної батареї типу САИ-55 (напруга 12 V, ємність 55 А/год.).

В зв'язку з швидкоплинним вимірюванням пускового моменту тертя, замість індуктивного методу вимірювання моменту тертя, володіючого великою інерціоністю, був використаний метод тензометрування. З цією метою фланець похідного генератора прикріплюється на вільній опорі, яка встановлена на підшипниках. На самому генераторі з обох сторін встановлюється два коромисла. На кінці одного з них встановлена пружна пластина з тензодатчиком, друге коромисло виконувало роль балансора.

Вимірювання температури виконувалося хромель-копельової термопарою, в якості вказівника використовувався електронний потенціометр ЕПВ2-11А.

Для запису на осцилограмі електричних сигналів, які поступають з вимірювальних систем товщини змащувального шару і моменту тертя, звстосовувався шлейфовий осцилограф НО.43-1.

Висновки до розділу 2

Дослідження процесів при роботі с частими пусками-зупинками та змінюючою температурою проводились в умовах моделювання на машині СМЦ-1, яка забезпечена керуючим електроним блоком, що дозволяє в широкому діапазоні змінювати параметри нестационарності. Використання модельної установки дозволило підтвердити вірність прийнятих критеріїв оцінки та встановити достовірність методики прискорених випробувань.

РОЗДІЛ. 3

ЗМАЩУВАЛЬНА ДІЯ МАСТИЛЬНИХ РІДИН

3.1 Склад базових мастил та властивості вуглеводневих мастил, які досліджуються

Основною речовиною сучасних змащувальних мастил – нафтових, жирових та значною частиною антетичних є вуглеводні різних класів та їх похідні. Менша частина антетичних мастил та майже всі присадки, які примінюються для поліпшення експлуатаційних якостей мастил, являють собою елементоорганічні сполуки (таблиця 3.1).

У відмінності від вуглеводнів, молекули яких складаються тільки з атомів вуглецю і водню, їх похідні, які входять у склад мастил, містять в своїх молекулах також атоми кисню, а в деяких випадках, атоми сірки і азоту.

Елементоорганічні сполуки являють собою синтетичні речовини, в молекулах яких наряду з вуглеводневими групами є атоми, які частіше не містяться в природних вуглеводневих сполуках. У деяких випадках такі атоми можуть повністю замінити атоми водню, так що дані речовини більше не являються вуглеводневою сполукою.

Наявність в молекулах похідних вуглеводнів і елементоорганічних сполук інших атомів, крім С і Н, має дуже важливе значення для змащувальної ефективності мастил [1, 2].

Структура молекул вуглеводнів та їх похідних характеризується декількома групами атомів, які частіше зустрічаються у, так званих, функціональних групах, які мають важливе значення для змащувальних властивостей мастил. В якості таких груп треба виділити метиленову CH_2 , метильну CH_3 , гідроксильну OH , карбонильну CO , карбоксильну COOH .

Атомні групи CH_2 і CH_3 являються чисто вуглеводневими і полярно інертні, інші містять атоми кисню і володіють дипольним моментом, тобто полярно активні. Ця різниця має важливе значення для змащувальної ефективності [2].

Таблиця 3.1 - Фізичні властивості деяких вуглеводнів (нормальні парафіни)

Парафін $C_nH_{(2n+2)}$	Число атомів вуглецю	Молекулярна вага ¹	Густи- на ² при 20°C, г/см ³	Моле- куляр- ний об'єм при 20°C, см ³ /моль	Точка кипіння при 760 мм Hg, °C	Точка замерзан- ня у по- вітрі при 1 атм, °C	Критичн а тем- пера- тура, °C
Метан	1	16,042	-	-	-161,49	-182,48	-82,5
Пропан	3	44,094	0,5005 ³	88,10 ³	-42,07	-187,69	+96,81
н-Пентан	5	72,146	0,62624	115,205	+36,074	-129,721	196,62
н-Гептан	7	100,198	0,68376	146,540	98,427	-90,610	267,01
н-Октан	8	114,224	0,70252	162,592	125,655	-56,795	296,2
н-Нонан	9	128,250	0,71763	178,713	150,798	-53,519	322,0
н-Декан	10	142,276	0,73005	194,885	174,123	-29,661	346,0
н-Додекан	12	170,328	0,74869	227,501	216,278	-9,587	386,0
н-Тетрадекан	14	198,380	0,7628	260,05	253,57	+5,863	422,0
н-Гексадекан	16	226,432	0,77344	292,760	286,793	18,165	452,0
н-Гептадекан	17	240,458	0,7780 ^a	309,09 ^a	301,82	21,980	462,0
н-Октадекан	18	254,484	0,7819 ^a	325,45 ^a	316,12	28,180	477,0
н-Ейкозан	20	282,536	0,7887 ^a	358,23 ^a	342,7	36,8	502,0
н-Докозан	22	310,588	0,7944 ³	390,98 ³	367,0	44,4	518,0

¹ Атомна вага вуглецю 12,010, водню – 1.0080.
² Густина приведена для рідкого стану при 1 атм на межі з повітрям
³ При тиску насиченості
^a Для переохолодження рідин нижче температури замерзання

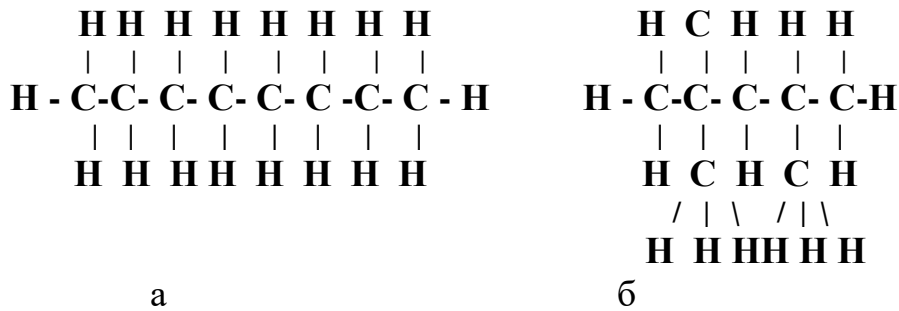
Продовження таблиці 3.2 - Фізичні властивості деяких вуглеводнів
(нормальні парафіни)

Парафін $C_n H_{(2n + 2)}$	Число вуглецевих атомів	Критич- ний тиск, атм	Критич- ний об'єм, л/моль	Теплота випаро- вування при тем- пературі кипіння при 1атм кал/г	Теплота плавлін- ня, ккал/моль	Питома дис- персія при 20°C
Метан	1	45,80	0,099	121,87	0,225	-
Пропан	3	42,01	0,200	101,76	0,8422	-
н-Пентан	5	33,31	0,311	85,38	2,006	98,1
н-Гептан	7	27,01	0,426	75,60	3,354	98,8
н-Октан	8	24,64	0,486	71,91	4,957	97,1
н-Нонан	9	22,50	0,543	68,80	3,697	98,1
н-Декан	10	20,80	0,602	66,00	6,863	97,4
н-Додекан	12	17,90	0,718	61,30	8,803	98,1
н-Тетрадекан	14	16,00	0,830	57,50	10,772	98,0
н-Гексадекан	16	14,00	0,950	54,30	12,750	98,0
н-Гептадекан	17	13,00	1,000	52,80	9,676	98,0
н-Октадекан	18	13,00	1,100	51,50	14,815	98,0
н-Ейкозан	20	11,00	1,200	48,80	16,800	98,0
н-Докозан	22	10,00	1,300	44,60	18,500	98,0

Продовження таблиці 3.3 - Фізичні властивості деяких вуглеводнів
(нормальні парафіни)

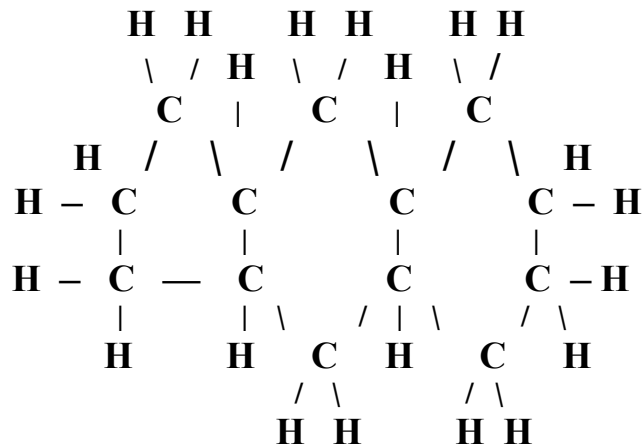
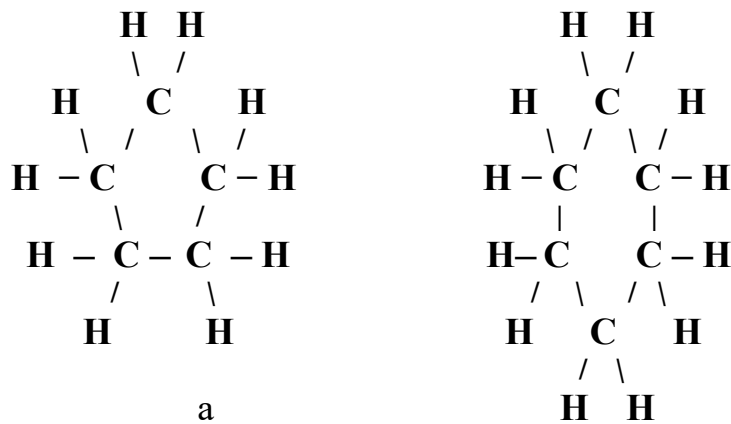
Парафін $C_nH_{(2n+2)}$	Число вуглецевих атомів	Показник переломлення ¹ n_D при 20°C	Поверхневий натяг σ , дн/см	Абсолютна в'язкість η , сантипуази
Метан	1	-	13,7 при -160°C ²	0,115 при -160°C ²
Пропан	3	-	15,15 при -40°C ²	0,205 при -40°C ²
н-Пентан	5	1,35748	16,00 при +20°C	0,235 при +20°C
н-Гептан	7	1,38764	20,30 при +20°C	0,4181 при +20°C
н-Октан	8	1,39743	21,76 при +20°C	0,5466 при +20°C
н-Нонан	9	1,40542	22,92 при +20°C	0,7160 при +20°C
н-Декан	10	1,41189	23,92 при +20°C	0,9284 при +20°C
н-Додекан	12	1,42160	25,44 при +20°C	1,5080 при +20°C
н-Тетрадекан	14	1,42890	26,60 при +20°C	2,3420 при +20°C
н-Гексадекан	16	1,43453	27,60 при +20°C	3,4840 при +20°C
н-Гептадекан	17	1,43690	28,00 при +20°C ²	4,2090 при +20°C
н-Октадекан	18	1,43900	28,40 при +20°C ²	3,4580 при +35°C
н-Ейкозан	20	1,44260	29,00 при +20°C ²	4,6990 при +35°C ²
н-Докозан	22	1,44830	29,80 при +20°C ²	5,9850 при +45°C ²

¹ Показник переломлення даний для спектральної лінії натрія D, довжина хвилі якої 5892,6 Å, що відповідає середній межі між довжиною хвиль D1 і D2.
² При тиску насиченого пару.



а – нормальної ізобудови; б – розгалуженої ізобудови.

Рисунок 3.1 - Структура молекул окремих парафінових вуглеводневих рідин:



б

а – моноциклічної будови; б – поліциклічної будови

Рисунок 3.2 - Структура молекул окремих нафтових вуглеводневих рідин:

В процесі роботи, мастила окиснюються і до них потрапляють різні відпрацьовані гази, що значно впливають на їх змащувальну здатність. В

даній роботі будемо розглядати чисті вуглеводні рідини без різних елементоорганічних сполук та присадок.

Нафта та нафтові мастила складаються з вуглеводнів трьох класів: парафінових, нафтових і ароматичних. В межах кожного класу можливі велика різноманітність вуглеводнів. Широко розповсюджені також вуглеводні змішаної (гібридної) будови – нафто-парафінові, нафто-ароматичні, ароматично-парафінові.

Розглянемо два основних види вуглеводневих рідин:

1. Парафінові вуглеводні
2. Нафтові вуглеводні

Структура молекул вуглеводневих рідин показана на рисунку 3.1 та 3.2.

Парафінові вуглеводні (рисунки 3.1а,б) складаються з молекул у вигляді відкритих ланцюгів атомів, довжина яких визначається числом атомів вуглецю. Кожний атом (крім кінцевих) вуглецевого “скелету” такого ланцюга має два приєднаних атома водню, створюючи разом з ним метиленову групу CH_2 . Кожний кінцевий атом вуглецю має три приєднаних атоми водню, створюючи з ним метильну групу CH_3 .

Парафінові вуглеводні являють собою відкриті метиленові ланцюги з метильними групами на кінцях. Ці ланцюги можуть бути прямими (у нормальних парафінів) або розгалуженими (у ізопарафінів)

Парафінові вуглеводні з числом атомів вуглецю від C_1 до C_4 при нормальній температурі являються газами; з числом атомів від C_5 до C_{16} – рідинами; від C_{17} і вище – твердими речовинами.

Нафтові вуглеводні (рисунки 3.2 а,б) складаються з молекул у вигляді кілець (циклів), створених метиленовими групами CH_2 . Число цих груп складає 5 або 6 [2].

З порівняння рисунків 3.1. і 3.2. неважко замітити, що нафтові кільця треба розглядати, як замкнуті метиленові ланцюги. У зв'язку з такою схожістю структури, нафтові вуглеводні по своїм фізико-хімічним властивостям близькі до парафінових, іноді іменуються циклопарафіновими.

Наряду з перебуваючими з одного кільця (циклу) моноциклічними нафтовими вуглеводнями, значна частина цих вуглеводнів є поліциклічними, тобто складається з двох або трьох, рідше чотирьох, частіше злитих (зконцентрованих) кілець. Можливі комбінації з кілець з однаковим числом атомів вуглецю і змішані комбінації з кілець з 5 або 6 атомами вуглецю (С) [1].

3.2 Змащувальна дія індивідуальних вуглеводнів в умовах пусків і зупинок

При дослідженні змащувальної дії нафтопродуктів використовувались наступні індивідуальні вуглеводневі рідини:

1. Парафінового ряду

- 1.1. н-Гептан
- 1.2. н-Октан
- 1.3. н-Декан
- 1.4. н-Гептан
- 1.5. н-Октаденан
- 1.6. н-Докозан

2. Нафтового ряду

- 2.1. Тетралін
- 2.2. Декалін

Дослідження виконувались на машині тертя СМЦ-1. Використовувались два режими роботи:

1. Пуск – зупинка з паузою між циклами в 1 секунду. Час розгону і зупинки рівне і складає 3 секунди. Сумарна швидкість кочення: $V_{\Sigma} = 30$ м/с. Просковжування $\epsilon = 15$ %.

2. Встановлений режим, з постійною сумарною швидкістю кочення $V_{\Sigma} = 3$ м/с. Просковжування $\epsilon = 15$ %.

Матеріал роликів – сталь 45 (HRC 28-32). Контактна напруга 682 МПа. Шорсткість роликів $R_a = 0,35$ мкм.

Швидкість нагрівання змащувального шару ВГВ склала $1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{хв.}$, яка регулювалася за допомогою електропідігрівача.

З точки зору ефективності змащувальної дії вуглеводнів, основний інтерес виявляє два питання:

1. Впливання робочих діапазонів температур, при яких забезпечується найбільший ефект змащувальної дії індивідуальних вуглеводнів.
2. Впливання температури на формування СОП.

В умовах пусків – зупинок, а також при встановленому режимі роботи парафінові і нафтові ВГВ формували на контактних поверхнях тертя граничні шари... На поверхнях тертя з'явилася характерна темнокоричнева плівка. Подальше підвищення температури сприяло інтенсивному росту цих плівок. Судячи з цього, на поверхнях тертя утворилися СОП.

На рисунки 3.3 - 3.10 показано вимірювання товщини змащувального шару в залежності від температури для випробувальних вуглеводнів.

Оцінка ефективності змащувальної дії вуглеводнів виконувалася по двом показникам:

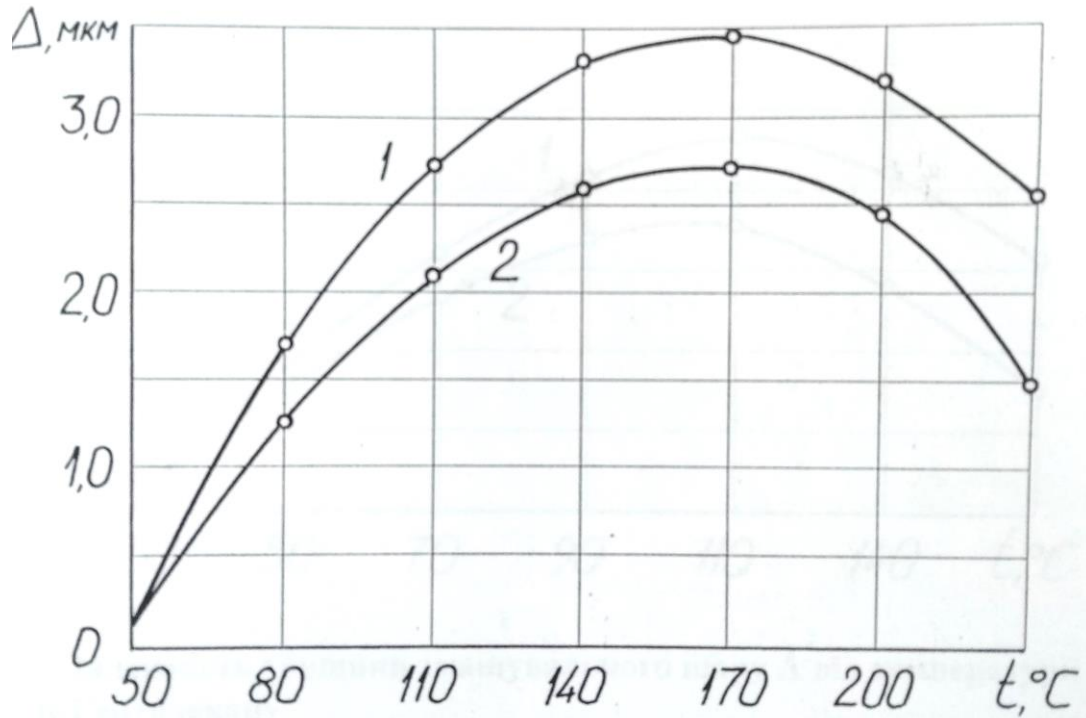
1. Температура початку руйнування змащувального шару t_p .
2. Максимальної товщини змащувального шару, зареєстрованою в процесі нагрівання ΔU_{\max} (Δt_{\max}).

На підставі цих показників для кожного вуглеводню були визначені робочі діапазони температур. Нижня межа температур визначалася із розрахунку забезпечення товщини змащувального шару, яка відповідає зменшенню напруги і дорівнює $200 \div 250\text{ мВ}$ (приблизно $1,5 \div 1,8\text{ мкм}$; $135\text{ мВ} \approx 1\text{ мкм}$) для забезпечення умов тертя, близьких до гідродинамічних. Верхня межа визначалась нижче температури початку руйнування змащувального шару на $10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Результати досліджень приведені в таблиці 3.4.

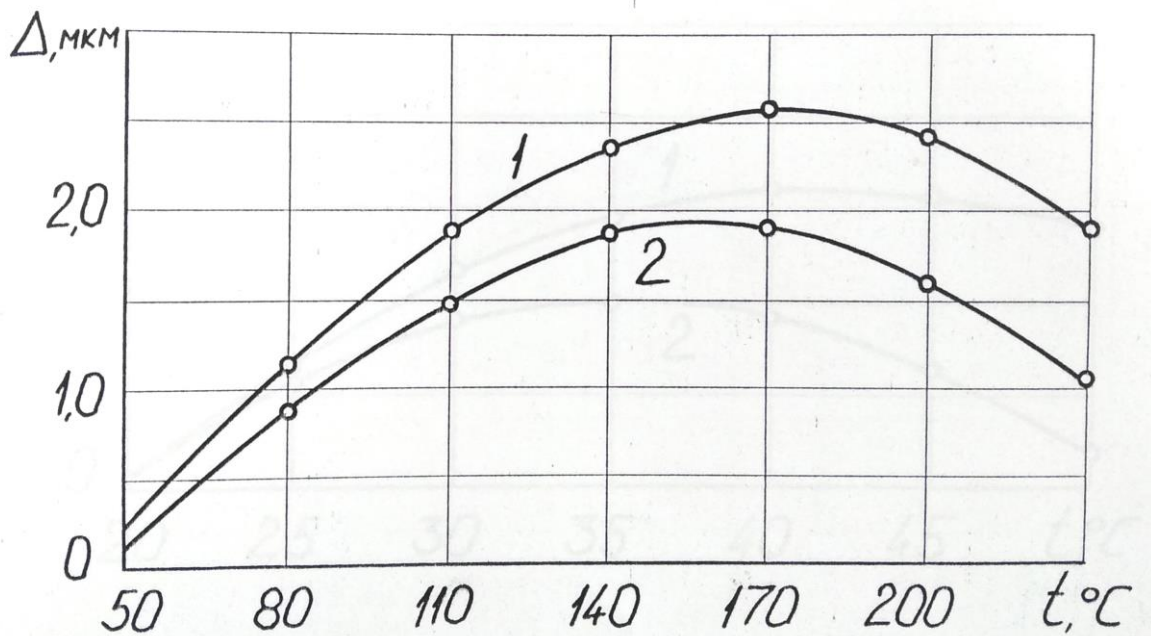
Таблиця 3.4 - Параметри, які характеризують ефективність змащувальної дії вуглеводневих рідин

Найменування ВГВ	Режим роботи	Максимальна товщина змащувального шару		Температура початку руйнування СОП, °С	Робочий діапазон температур, °С	Молекулярна вага
		ΔU_{\max} , мВ	Δt_{\max} , мкм			
н-Докозан	пуск-зупинка	470	3,48	180	80-170	310
	усталений	400	2,96	160	100-150	
н-Октадекан	пуск-зупинка	340	2,51	130	85-120	254
	усталений	260	1,92	120	96-110	
н-Гептадекан	пуск-зупинка	310	2,30	115	70-110	240
	усталений	230	1,70	100	80-95	
н-Декан	пуск-зупинка	210	1,55	45	-	142
	усталений	120	0,89	35	-	
н-Гептан	пуск-зупинка	25	0,18	25	-	100
	усталений	15	0,11	23	-	
н-Октан	пуск-зупинка	30	0,22	26	-	114
	усталений	20	0,15	25	-	
Тетралін	пуск-зупинка	320	2,37	110	65-100	132
	усталений	270	2,00	95	65-85	
Декалін	пуск-зупинка	370	2,74	110	60-100	138
	усталений	280	2,07	100	70-96	



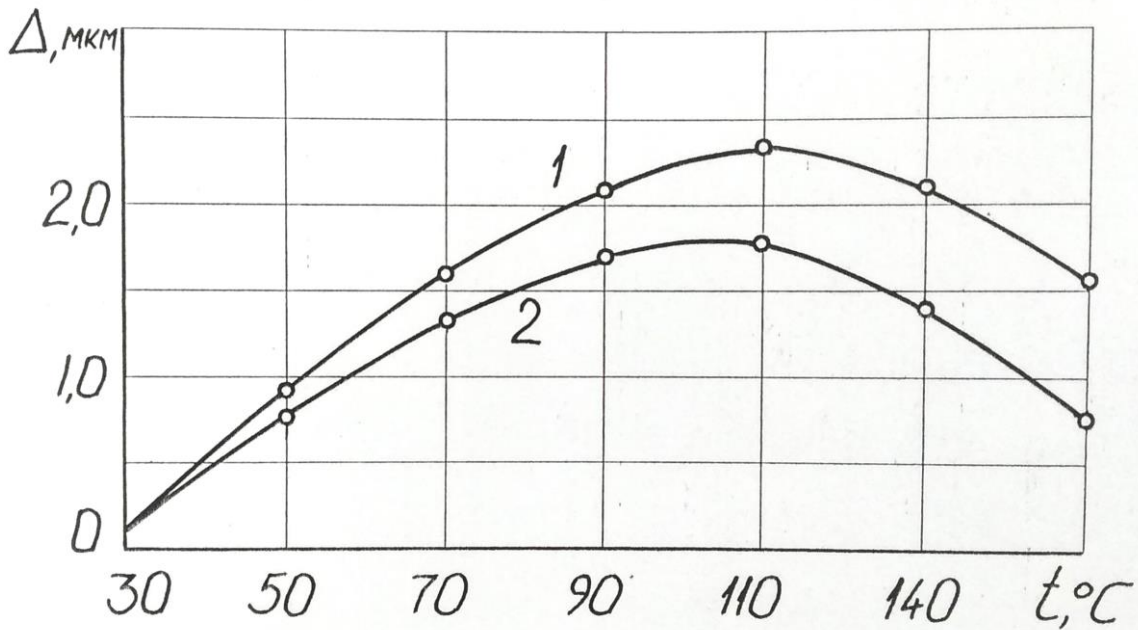
1 – режим пуск-зупинка; 2 – усталений режим тертя.

Рисунок 3.3 - Залежність товщини змащувального шару Δ від температури t для н-Докозану



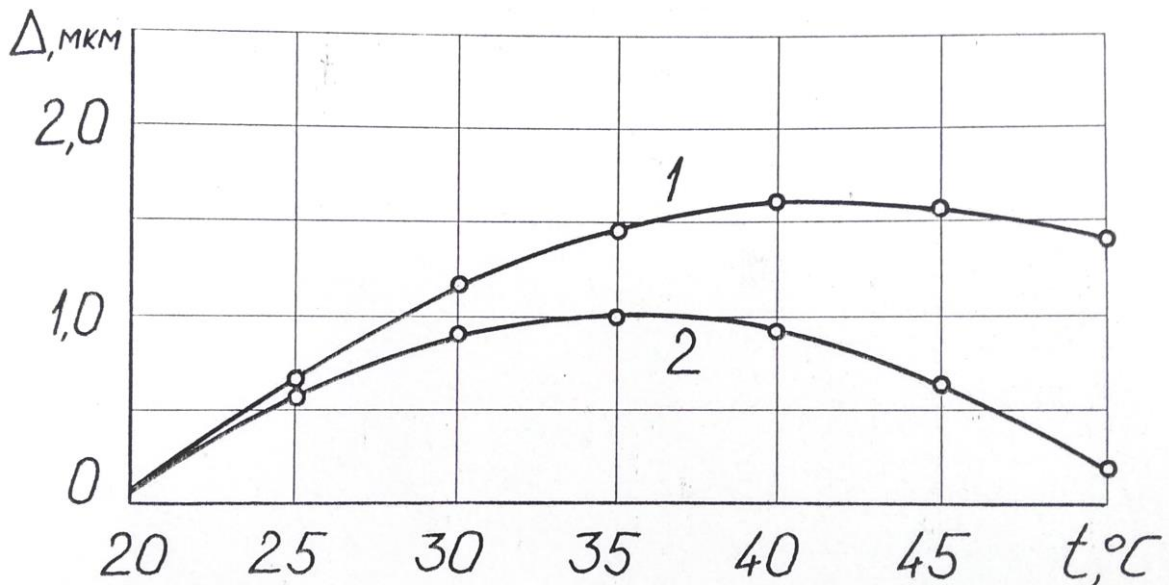
1 – режим пуск-зупинка; 2 – усталений режим тертя.

Рисунок 3.4 - Залежність товщини змащувального шару Δ від температури t для н-Октадекану



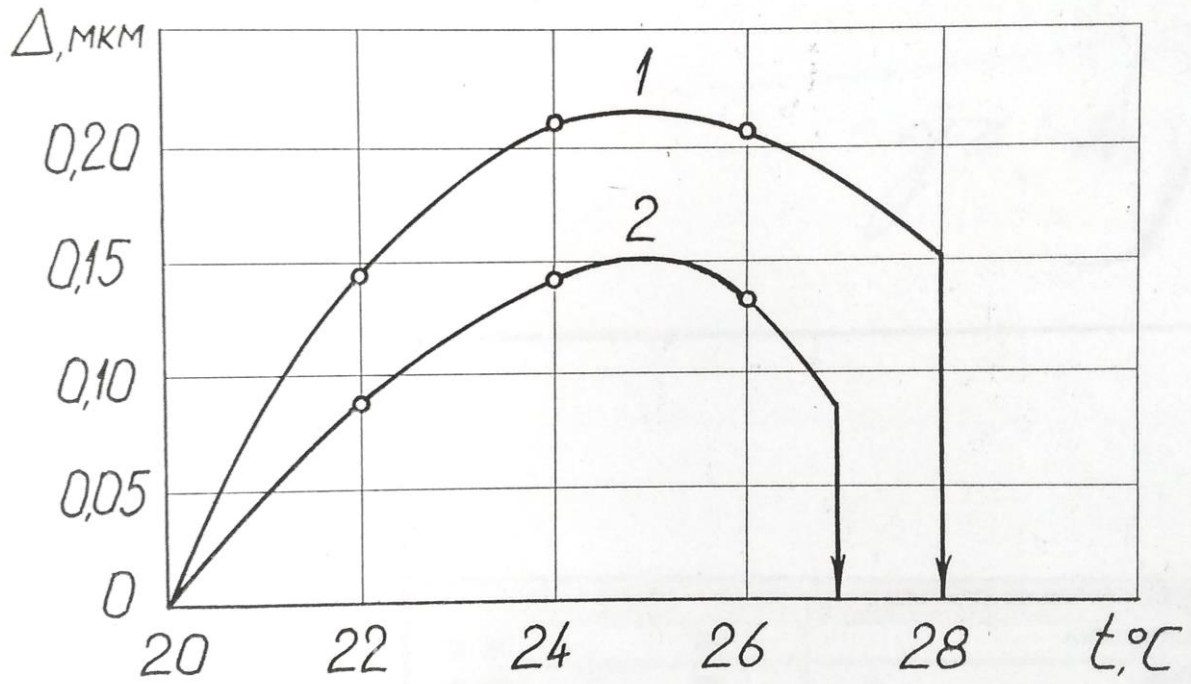
1 – режим пуск-зупинка; 2 – усталений режим тертя.

Рисунок 3.5 - Залежність товщини змащувального шару Δ від температури t для н-Гептадекану



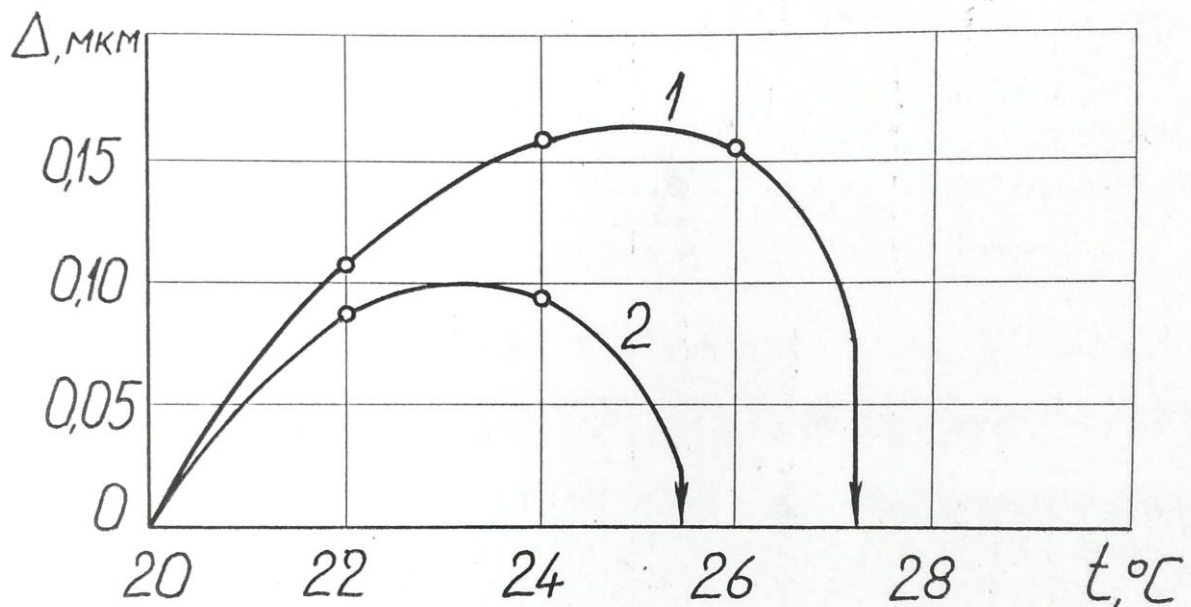
1 – режим пуск-зупинка; 2 – усталений режим тертя.

Рисунок 3.6 - Залежність товщини змащувального шару Δ від температури t для н-Декану



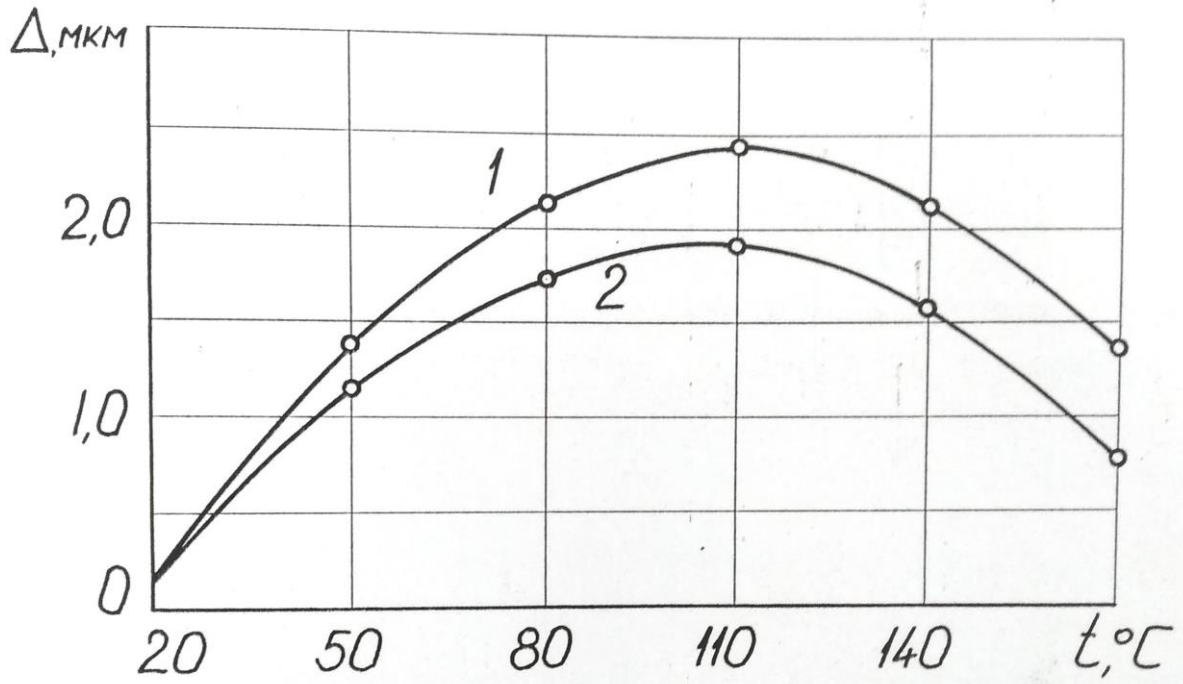
1 – режим пуск-зупинка; 2 – усталений режим тертя.

Рисунок 3.7 - Залежність товщини змащувального шару Δ від температури t для н-Гептану



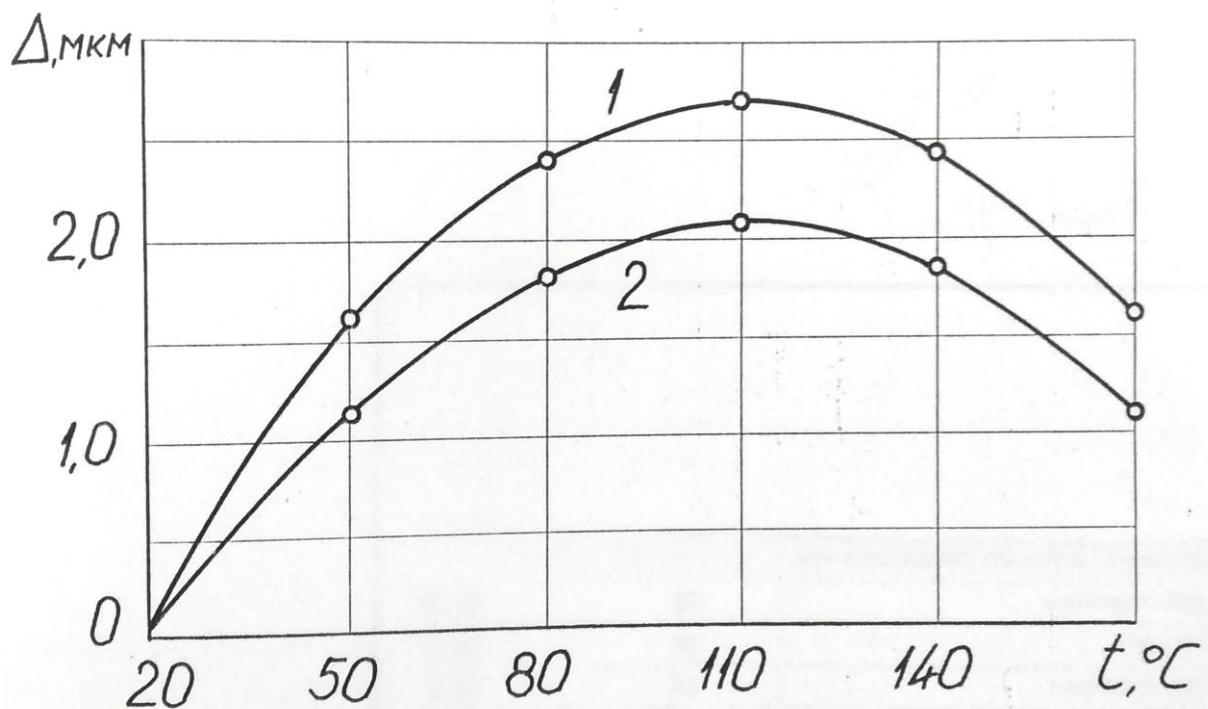
1 – режим пуск-зупинка; 2 – усталений режим тертя.

Рисунок 3.8 - Залежність товщини змащувального шару Δ від температури t для н-Октану



1 – режим пуск-зупинка; 2 – усталений режим тертя.

Рисунок 3.9 - Залежність товщини змащувального шару Δ від температури t для Тетраліну



1 – режим пуск-зупинка; 2 – усталений режим тертя.

Рисунок 3.10 - Залежність товщини змащувального шару Δ від температури t для Декаліну

3.3. Аналіз отриманих результатів змащувальної дії вуглеводневих рідин

Співставлення результатів випробувань вказує на те, що найбільша товщина змащувального шару відповідає ВГВ парафінового класу н-Докозану. Температура початку руйнування змащувального шару також максимальна для н-Докозану – 180 °С.

Дослідження ВГВ парафінового і нафтового ряду показали, що товщина кінцево-сформованих СОП підвищується із збільшенням молекулярної ваги. Аналогічний зв'язок між молекулярною вагою і товщиною СОП встановили В.С. Білоус, Н.Ф. Дмитриченко і В.О. Стаднік, Р.Г. Мнацканов. Так, для ВГВ н-Гептана і н-Октана з низькою молекулярною масою (відповідно 100 і 114) взагалі не був виявлений ефект змащувальної дії. Схвачування відбувалось практично при комнатних температурах. СОП сформована н-Деканом дещо міцніше, але і тут схвачування робочих поверхонь відбувалось при невеликих температурах 55-60°С.

Звертає увагу той факт, що для одних і тих самих ВГВ як парафінового, так і нафтового ряду, при роботі в режимі пуску-зупинки товщина кінцево-сформованих СОП завжди перевищує товщину СОП, яка була сформована при роботі в усталеному режимі. Різниця в значенні падіння напруги на СОП, пропорційно товщині СОП, досягає 70мВ приблизно 0,52 мкм (Докозан, Октаденан) і 90 мВ приблизно 0,67 мкм (Декан).

Така невелика різниця пов'язана, вірогідно, перш за все, з більш високим ступенем активізації робочих поверхонь зразків в процесі пусків і зупинок. Це створює сприятливі умови для більш інтенсивного росту СОП. СОП, які сформовані в умовах пусків-зупинок, мають більш надійний зв'язок з металом. Про це свідчать більш високі температури початку руйнування СОП, які в умовах пусків-зупинок на 15°С – 20°С перевищують температуру руйнування СОП при усталеному режимі.

В умовах усталених та неусталених режимах роботи для нафтових та парафінових вуглеводневих рідин виявлені різні характеристики змащування для вуглеводнів з однаковою молекулярною вагою. Нафтові вуглеводневі рідини при молекулярній вазі 132 забезпечують досить добрі характеристики змащування (максимальна товщина змащувального шару, температура початку руйнування СОП, робочий діапазон температур), а парафінові вуглеводневі рідини при молекулярній вазі 142 практично не забезпечують змащувальної дії. Це пояснюється структурною будовою вуглеводневих рідин. Нафтові ВГВ формують на поверхні металу змащувальний шар у вигляді структури алмазу, який характеризується великою міцністю. Парафінові ВГВ формують на поверхні металу змащувальний шар у вигляді ворсу.

В. Гарді, Ф.П. Боуден та Д. Тейбор [51], Смсман, Д.Мур [52], а також Г.В. Виноградов, І.В. Корєпова, Ю.Я. Подольський, Н.Т. Павловська [53], Р.Г. Мнацаканов [54] проводили такі дослідження дослідуючи залежність коефіцієнту тертя стальної пари від молекулярної ваги парафінових та інших ВГВ, які змащують цю пару, встановили лінійну залежність між коефіцієнтом тертя і молекулярною вагою.

В.Гарді в своїх експериментах вперше показав, що коефіцієнт тертя являє собою лінійно-зменшуючу функцію молекулярної ваги і відповідно довжині ланцюга вуглецю. Він писав: “Мабуть, при достатній довжині ланцюга щезає поле і, внаслідок чого тертя відсутнє. Це дійсно ми і спостерігали в такій формі: при найменшому тяговому зусиллі, яке ми тільки могли здійснити, виникало ковзання”. Таке явище по аналогії з терміном “понадплинний” можна назвати “понадковзанням” поверхонь.

Гарді відмічає, що вимір статичного тертя в області дуже невеликих його значень близьких до нуля, проблематично, так як перехід до ковзання відбувається рівним, а точність його встановлення не була достатньою для таких вимірів. Тверді мастила, які по своїй молекулярній вазі повинні були зайняти місце нижче вісі абсцис в області негативних значень μ , в дійсності

характеризується дуже малими значеннями. Таким чином прями $\mu = f(m)$ повинні мати місце перегибу.

Боуден і Тейбор [51] повторили експерименти Гарді. Всі отримані криві мали місце перегибу і, починаючи з деяких значень молекулярної ваги, ідуть паралельно вісі абсцис коефіцієнт (стоппеского) тертя для парафінів близький до цифри (0,085), яка приведена по Гарді.

Трактування висновків Гарді і Боудена вимагає узагальненої, але цілком визначеної точки зору на фізичну природу і походження сил граничного тертя. Акт адсорбції полярної молекули твердої поверхні показує результат взаємодії власного поля молекули з полем активного центру конденсованої фази. Внаслідок адсорбції локальне поле адсорбного центру викривляється і слабшає. Це послаблення поля, якщо користуватися, наприклад, електростатичними поданнями теорії поляризації діелектриків, аналогією зв'язування частини дійсних зарядів поляризаційними.

В підсумку адсорбуючої взаємодії взагалі зберігаються, по-перше, “остаточное поле” конденсууючої фази та по-друге, (наприклад, в разі вертикально орієнтованих ланцюгових молекул з активним радикалом на одному з полюсів), парціональне поле атомних груп молекули, безпосередньо в акті адсорбуючої взаємодії не беруть участь. В разі парафінів цим парціальним молекулярним полем є поле дисперсійні (лондонських) сил метильних і метиленових груп без дипольного “хвоста” молекули, орієнтовної і адсорбуючої пов'язаної другим своїм полюсом.

З викладеного виходить, що при мономолекулярному граничному терті відбувається взаємодія остаточних полів обох граничних шарів. Сила тертя, таким чином, є тангенціально підсумкова такої взаємодії. Таким чином, чим більша довжина ланцюга вуглеводневої рідини і активність головних груп молекул в ряду: CH_3 ; $\text{CH}(\text{OH})$; COOH , тим товще моно- і мультимолекулярний шар мастильної рідини. Звідси виходить, що екрануючий ефект вуглецевого ланцюга підвищується із збільшенням числа

ланок, визначається впливом полеризаційного характеру кінцевих груп на всі ланки ланцюга.

А.С. Ахматов [2] пояснює антифрикційну ефективність парафінових ВГВ модифікованою моделю полярноактивних молекул. Внаслідок повної внутрішньої компенсації електричних моментів атомних сполук (С – Н; С – С) в метиленових (СН₂) і метильних (СН₃) групах молекули парафінів бездіпольні і позбавлені здібності до стійкої вертикальної орієнтації на поверхні твердих тіл. Таким чином, такі молекули займають на твердій поверхні положення лежачи. Тому виявлене Гарді і Боуденом антифрикційна активність таких речовин пропорційна довжині їх ланцюгу, потребує пояснення.

Пропозиції про поляризацію вуглецевого ланцюгу і виникнення у неї в полі твердої фази наведеного моменту мало ймовірно. Такі молекули являють собою закручені і вигнуті ланцюги. Припустимо, що за рахунок слабкої ван-дер Ваальсової адсорбції лінійна частина метиленового ланцюга розміщена тангенціально поверхні, та інша його частина (закручена чи вигнута) нахилена до поверхні під кутом (рисунок 3.11). Якщо для даного гомолога середнє значення кута нахилу дорівнює φ , а середня довжина вигнутої частини ланцюга λ_0 , то середня “висота” нахиленої гілки ланцюга $\lambda = \lambda_0 \cdot \sin \varphi$.

Беручи до уваги це, можна припустити, що величина λ пропорційна довжині ланцюга в гомологічному ряду. При послідовному переході від одного представника голомологічного ряду до другого відстань між поверхнями повинна змінюватись пропорційно молекулярній вазі та довжині ланцюга.

Г.В.Виноградов з іншими вченими [53] досліджуючи низькомолекулярні вуглеводи пояснює їх короткочасну змащувальну дію.

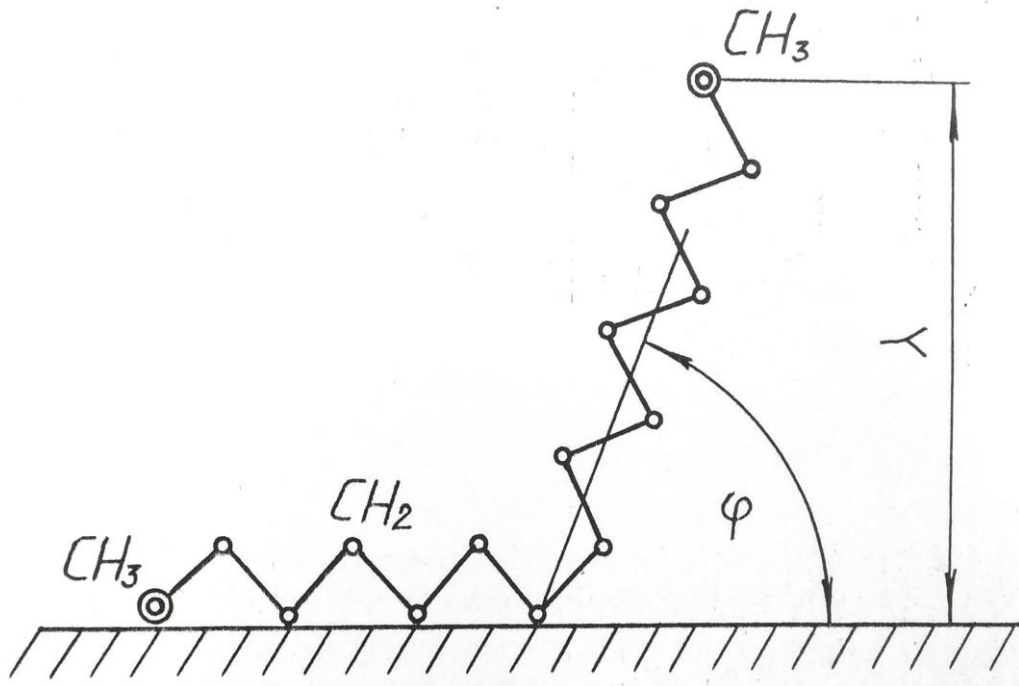


Рисунок 3.11 - Можливе положення поворотного ізомера вуглеводневих рідин на площині металу.

Встановлено, що при важких режимах граничного тертя сталених поверхонь велике значення мають три фактори: окислювальна активність газового середовища, схильність до окиснення змащувального матеріалу та умови транспорту молекулярного кисню до зон тертя. Створення окисних плівок на поверхні тертя відбувається, як зіткнення окиснення металу та основної частини змащувальних мастил (вуглеводнів). Велика відмінність в їх поведінці при важких режимах тертя та висока мастильна дія деяких з них викликають великий самостійний інтерес. У своїй праці “Змащувальна дія низькомолекулярних вуглеводнів при важких режмах тертя” Г.В.Виноградов описує, що при окисненні вуглеводнів в процесі тертя спостерігався більш низький коефіцієнт тертя, ніж без окиснення. Але надлишок кисню шкідливий, тому що при цьому, мабуть, створюються товсті та пухкі, чітко змінені окисні шари, що призводить до захоплення металу. З цього виходить, що низькомолекулярні вуглеводні в процесі тертя окиснюються та створюють різні полярноактивні молекули, які можуть на деякий час

створювати достатній шар вуглеводневих рідин, щоб не виникло схоплювання.

Наші дослідження показують, що змащувальна здатність неполярних парафінових і нафтових ВГВ пояснюється створенням на контактних поверхнях адсорбційних та хемосорбційних (СОП) змащувальних шарів.

Як результат дослідження, в умовах частих пусків і зупинок, СОП формується значно інтенсивніше у порівнянні з усталеними умовами праці. Це можна пояснити індукуванням дипольного моменту, тобто поляризацією частини вуглеводнів під дією силового поля твердої поверхні металу і збільшення силового поля твердої поверхні контактуючих роликів. Також встановлено, що максимальна інтенсивність створення СОП ВГВ в контактній тертя визначається оптимальним сполученням робочих температур та молекулярної ваги ВГВ.

3.4 Схема механізму будови адсорбційних і хемосорбційних змащувальних шарів.

Наші дослідження показують, що змащувальна здатність неполярних парафінових і нафтових ВГВ пояснюється створенням на контактних поверхнях адсорбційних та хемосорбційних (СОП) змащувальних шарів.

На рисунку 3.12 а, б показана схема механізму будови граничних адсорбційних хемосорбційних (СОП) змащувальних шарів, які утворилися:

а - неполярними (парафіни $C_{16}H_{34}$) і *б* - полярними (жирні кислоти $CH_3(CH_2)_{13}COOH$) молекулами. Процес створення змащувальних вуглеводневих шарів можна поділити на декілька етапів:

1. Утворення мономолекулярної адсорбційної плівки.

Вуглеводні складаються з полярно інертних молекул, які самі не здатні створювати адсорбційні шари на твердих поверхнях. Але багато похідних вуглеводнів мають в складі своїх молекул активні групи атомів, які мають O, S, N та інші елементи, отже, їх молекули являються полярними (частково) і можуть утворювати адсорбційні шари.

Під дією дисперсійних (для ВГВ) і орієнтовних (для жирних кислот) сил ван дер Ваальса вуглеводневі групи приєднуються своїми активними центрами CH_3 (для ВГВ) та COOH (для жирних кислот) до поверхні металу. Оскільки енергія взаємодії для метильних груп CH_3 набагато менша ніж у карбоксильних груп COOH вони формуються гірше та їх міцність не дуже висока (таблиця 3.3) (рисунок 3.12.1).

2. Утворення мультимолекулярних адсорбційних шарів.

По завершенні формування насиченого мономолекулярного шару, тобто після заповнення адсорбційованими молекулами всіх вакантних активних центрів твердої поверхні відбувається утворення подальших рядів молекул, які приєднуються своїми метильними групами під дією дисперсних сил ван дер Ваальса до вільних кінців молекул первинного шару. Так утворюється мультимолекулярний шар, який утворює довгий ворс на поверхні металу (таких шарів може бути до 30). Для вуглеводневих рідин мультимолекулярні шари не такі густі як для жирних кислот і, як наслідок цього не такі міцні.

Таблиця 3.3 - Енергія взаємодії між окремими елементами мультимолекулярної адсорбційної плівки (з молекул вуглеводневих рідин та жирних кислот) [2]

Взаємодія між	Фізична природа сил взаємодії	Енергія взаємодії в ккал/моль
Поверхньою металу і карбоксильними (COOH) групами (головками) молекул	Орієнтовні сили ван дер Ваальса	13
Атомами вуглецю усередині метиленових (CH_2) ланцюгів	Ковалентні сили хімічного зв'язку	84
Метильними (CH_3) хвостовими групами сусідніх моношарів	Дисперсні сили ван дер Ваальса	Менше 1

Полярно інертні “хвости” адсорбованих молекул складаються з метиленових груп CH_2 з кінцевими метильними групами CH_3 , які знаходяться по всій довжині також під дією поперечних (нормальних до поздовжньої вісі молекули) дисперсійних сил ван дер Ваальса, внаслідок чого молекули

набувають паралельну орієнтацію і виявляються з'єднаними у відносно міцні "пакети", і весь мультимолекулярний граничний шар набуває квазікристаличну структуру комплексу рідких кристалів.

Вельме слабкий зв'язок між хвостами молекул суміжних шарів є причиною легкого ковзання при граничному режимі змазки між контактуючими адсорбційними плівками, які належать двом рухаючим поверхням (рисунок 3.12. 2).

3. Десорбція. Руйнування раніше утворених адсорбційних мультимолекулярних шарів під дією температури.

Адсорбційні плівки на поверхнях тертя руйнуються від термічних та механічних впливів. Перші викликають їх десорбцію, другі стирання.

При нагріванні змащеної поверхні рухливість адсорбційних молекул збільшується, і по досягненню деякої критичної температури їх кинетична енергія починає перевищувати енергію адсорбційного зв'язку. В результаті відбувається дезорієнтація молекул. Ця температура залежить не тільки від властивостей адсорбованої речовини, але і від природи поверхні.

Після зниження температури поверхні адсорбційної плівки відновлюється в залежності з розглянутим вище механізмом адсорбційної будови молекул.

Якщо адсорбовані на змащувальній поверхні полярноактивні речовини утворюють на ній плівки металевих мил або якщо ці речовини, які кристалізуються при кімнатній температурі, утворюють тверді плівки, то змащувальна ефективність таких плівок зберігається тільки до досягнення температури їх плавлення. Ця температура, як і температура десорбції, не перевищує 150°C , а в багатьох речовинах вона значно нижче ($80\text{-}100^{\circ}\text{C}$) (рисунок 3.12.3).

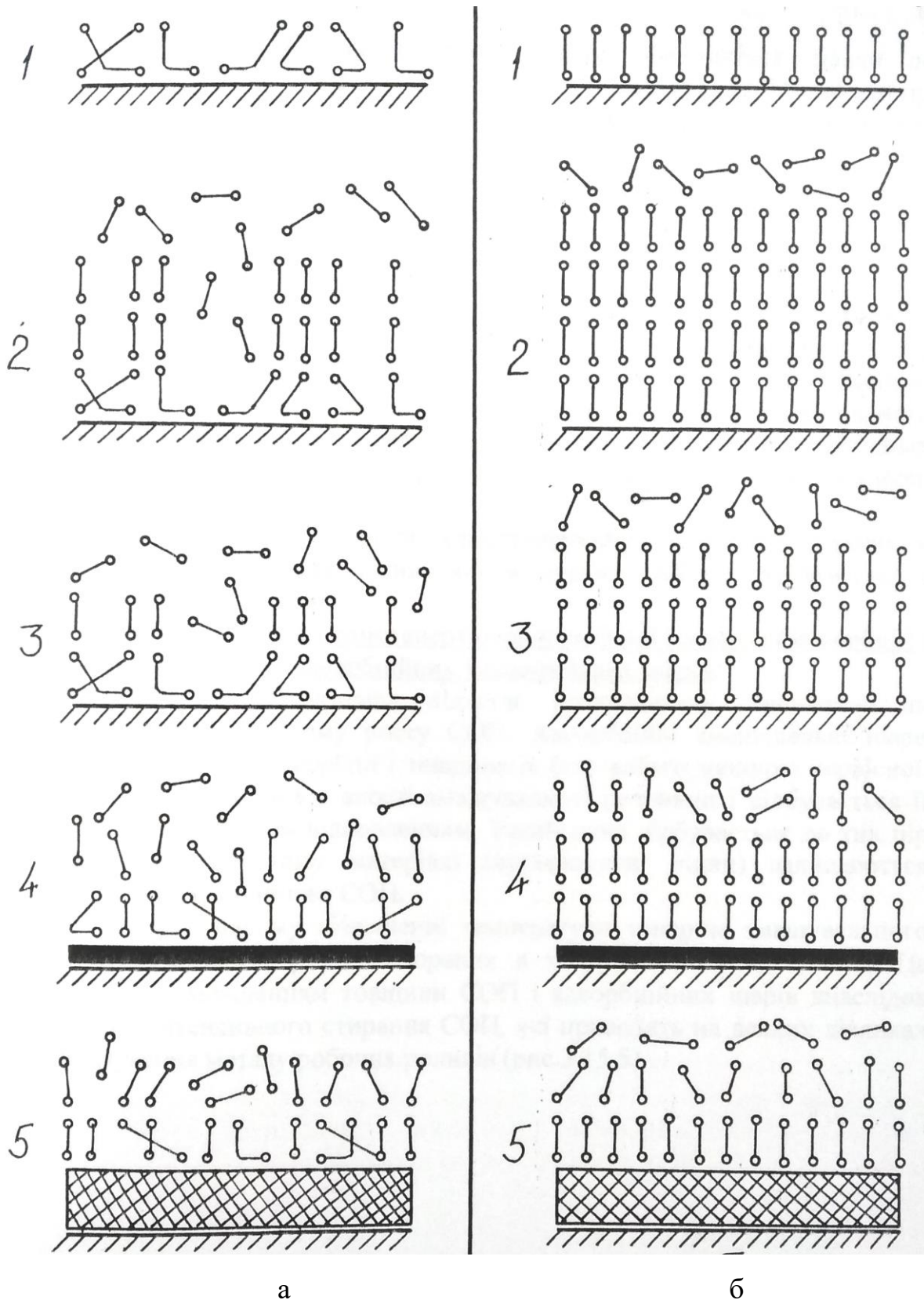


Рисунок 3.12 - Схема механізму будови граничних адсорбційних і хемосорбційних (самогенеруючої органічної плівки) змащувальних шарів, які утворилися *а* - неполярними (парафіни), *б* – полярними (жирні кислоти) [2]

4. Утворення хемосорбційних змащувальних шарів (самогенеруючої органічної плівки) з подальшим руйнуванням адсорбційних змащувальних шарів.

Утворення самонгенеруючої органічної плівки (хемосорбція) виникає під дією сил хімічного зв'язку між матеріалом поверхні твердого тіла (металом або окиснем) і адсорбуючими на ній під дією сил ван дер Ваальса молекулами. СОП необоротня. Між поверхньою і адсорбованими молекулами виникає міцний хімічний зв'язок з утворенням нового з'єднання на поверхні твердого тіла, яка володіє стійкістю до зовнішньої дії, незрівнянно більш високою, ніж фізично адсорбовані молекулярні шари.

Матеріалом для будівлі самогенеруючої органічної плівки є молекули вуглеводневих рідин, які в процесі роботи руйнуються і окиснюються (рисунок 3. 12. 4).

5. Інтенсивний ріст самогенеруючої органічної плівки (хемосорбції) і подальше руйнування адсорбційних змащувальних шарів.

Змащувальний матеріал підлягає інтенсивному окисненню як наслідок цього швидкому росту СОП. Адсорбційні змащувальні шари підлягають більшій десорбції і товщина їх стає набагато меншою первісної. СОП використовується в якості змащувальної речовини і відбувається її стирання з подальшим відновленням. Такий цикл відбувається до тих пір доки в змащувальному матеріалі (вуглеводневі рідин) залишаються елементи для будівництва СОП.

При подальшому збільшенні температури товщина змащувального шару вуглеводневих рідин створених в ході роботи зменшується. Це пов'язано зі зменшенням товщини СОП і адсорбційних шарів внаслідок десорбції і інтенсивного стирання СОП, які приводять на деяких ділянках до схвачування металу робочих роликів (рисунок 3. 12. 5).

Висновки до розділу 3

1. Для неусталених режимів роботи (часті пуски-зупинки та зміна температури) встановлені критерії, які характеризують змащувальну здатність окремих вуглеводневих рідин:

- питома робота тертя;
- температура початку руйнування СОП;
- максимальна товщина змащувального шару;
- робочий діапазон температур.

2. В умовах неусталених режимів роботи індивідуальних ВГВ рідин (часті пуски і зупинки) виявлені великі значення товщини змащувального шару, ніж при встановленому режимі. Причиною цього являється інтенсивний ріст СОП, яка при динамічному факторі (позитивному та негативному прискореннях і роботі в режимі частих пусків і зупинок) формується швидше і має більшу товщину і міцність, ніж при усталеному режимі роботи.

3. Змащувальний шар і СОП сформований індивідуальними вуглеводнями з більшою молекулярною вагою, які володіють великою міцністю, зберігають свої змащувальні властивості в широкому діапазоні температур (до 180 °С) і навпаки, вуглеводні з низькою молекулярною вагою формують дуже тонкий і нестабільний змащувальний шар, який майже при кімнатних температурах (28 °С) приводить до схоплювання.

4. В умовах усталених та неусталених режимах роботи для нафтових та парафінових вуглеводневих рідин виявлені різні характеристики змащування для вуглеводнів з однаковою молекулярною вагою. Нафтові вуглеводневі рідини при молекулярній вазі 132 забезпечують досить добрі характеристики змащування (максимальна товщина змащувального шару, температура початку руйнування СОП, робочий діапазон температур), а парафінові вуглеводневі рідини при молекулярній вазі 142 практично не забезпечують змащувальної дії. Це пояснюється структурною будовою вуглеводневих рідин.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

Під час виконання магістерської роботи велику кількість часу відводилось роботі з електронно-обчислювальною машиною (ЕОМ): обробка отриманих результатів, будування графіків, набір тексту та інше. Тому розділ охорони праці ми присвячуємо техніці безпеки при роботі на ЕОМ.

4.1 Небезпечні та шкідливі фактори при обробці статистичних даних при дослідженні змащувальної дії мастильних рідин

Облаштування робочих місць, обладнаних видеотерміналами, повинно забезпечувати:

належні умови освітлення приміщення і робочого місця, відсутність відблисків;

оптимальні параметри мікроклімату (температура, відносна вологість, швидкість руху, рівень іонізація повітря);

належні ергономічні характеристики основних елементів робочого місця, а також враховувати такі небезпечні і шкідливі фактори:

- наявність шуму та вібрації;
- м'яке рентгенівське випромінювання;
- електромагнітне випромінювання;
- ультрафіолетове і інфрачервоне випромінювання;
- електростатичне поле між екраном і оператором;
- наявність пилу, озону, оксидів азоту й аероіонізації [55-58].

4.2 Технічні та організаційні заходи для зменшення рівня впливу небезпечних та шкідливих факторів

Вимоги до приміщення

Будівлі та приміщення, в яких експлуатуються ЕОМ та виконуються їх обслуговування, повинні відповідати вимогам: СНиП 2.09.02-85,

СНиП 2.09.04-87, ПУЕ-86, ДНАОП 0.00-1.21-98, ДСанПіН 3.3.2.-007-98 “Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин” затверджених МОЗ України 10.12.98, а також вимогам нормативно-технічної експлуатаційної документації заводу-виробника ЕОМ, чинних санітарних норм, санітарних норм і правил, правил у сфері охорони праці та цих Правил;

площу приміщень, в яких розташовують відеотермінали, визначають згідно з чинними нормативними документами з розрахунку на одне робоче місце, обладнане відеотерміналом: площа – не менше 6,0 м², обсяг – не менше 20,0 м³ ;

стіни, стеля, підлога приміщень, де розміщені ЕОМ, повинні виготовлятися з матеріалів, дозволених для оздоблення приміщень органами державного санітарно-епідеміологічного нагляду;

у приміщеннях з ЕОМ слід щоденно проводити вологе прибирання;

у приміщеннях з ЕОМ повинні бути медичні аптечки першої допомоги [56-59].

Вимоги до освітлення

Приміщення з ЕОМ повинні мати природне і штучне освітлення відповідно до СНиП II-4-79 “Естественное и искусственное освещение”;

природне світло повинно проникати через бічні світлопрорізи, зорієнтовані, як правило, на північ чи північний схід, і забезпечувати коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче 1,5 %;

при виробничій потребі дозволяється експлуатувати ЕОМ у приміщеннях без природного освітлення за узгодженням з органами державного нагляду за охороною праці та органами і установами санітарно-епідеміологічної служби;

вікна приміщень з відеотерміналами повинні мати регульовальні пристрої для відкривання, а також жалюзі, штори, зовнішні козирки тощо;

штучне освітлення приміщення з робочими місцями, обладнаними відеотерміналами ЕОМ персонального користування, має бути обладнане

системою загального рівномірного освітлення. Допускається вживати систему комбінованого освітлення (додатково до загального освітлення встановлюються світильники місцевого освітлення);

загальне освітлення має розміщуватися збоку від робочих місць (переважно зліва) паралельно лінії зору працівників;

для загального освітлення необхідно застосовувати світильники із розсіювачами та дзеркальними екранними сітками або віддзеркалювачами, укомплектовані високочастотними пускорегулювальними апаратами (ВЧ ПРА). Застосування світильників без розсіювачів та екранних сіток забороняється;

як джерело світла при штучному освітленні повинні застосовуватися, як правило, люмінесцентні лампи типу ЛБ;

яскравість світильників загального освітлення в зоні кутів випромінювання від 50° до 90° відносно вертикалі в подовжній і поперечній площинах повинна складати не більше 200 кд/м^2 , а захисний кут світильників повинен бути не більшим за 40° ;

коефіцієнт запасу (Кз) відповідно до СНиП П-4-79 для освітлювальної установки загального освітлення слід приймати рівним 1,4;

коефіцієнт пульсації повинен не перевищувати 5% і забезпечуватися застосуванням газорозрядних ламп у світильниках загального і місцевого освітлення;

рівень освітленості на робочому столі в зоні розташування документів має бути в межах 300-500 лк. Допускається застосування світильників місцевого освітлення, але при цьому не повинно бути відблисків на поверхні екрану та збільшення освітленості екрану більше ніж 300 Лк;

світильники місцевого освітлення повинні мати напівпрозорий відбивач світла з захисним кутом не меншим за 40° ;

необхідно передбачити обмеження прямої блискості від джерела природного та штучного освітлення, при цьому яскравість поверхонь, що

світяться (вікна, джерела штучного світла) і перебувають у полі зору, повинна бути не більшою за 200 кд/м^2 ;

необхідно обмежувати відбиту блискість шляхом правильного вибору типів світильників та розміщенням робочих місць відносно джерел природного та штучного освітлення. При цьому яскравість відблисків на екрані відеотерміналу не повинна перевищувати 40 кд/м^2 , яскравість стелі при застосуванні системи відбивного освітлення не повинна перевищувати 200 кд/м^2 ;

необхідно обмежувати нерівномірність розподілу яскравості в полі зору осіб, що працюють з відеотерміналом, при цьому відношення значень яскравості робочих поверхонь не повинно перевищувати 3:1, а робочих поверхонь і навколишніх предметів (стіни, обладнання) – 5:1;

для забезпечення нормованих значень освітлення в приміщеннях з відеотерміналами ЕОМ загального та персонального користування необхідно очищати віконне скло та світильники не рідше ніж 2 рази на рік, та своєчасно проводити заміну ламп, що перегоріли [56, 57].

Вимоги до рівнів шуму та вібрації

У приміщеннях з ЕОМ рівні звукового тиску, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.1.003-83 “ССБТ Шум. Общие требования безопасности”, СН 3223-85 “Санітарні норми допустимих рівнів шуму на робочих місцях”, затверджених Міністерством охорони здоров’я СРСР, ГР № 2411-81 “Гігієнічні рекомендації по встановленню рівнів шуму на робочих місцях з урахуванням напруженості та тяжкості праці”, затверджених Міністерством охорони здоров’я України. Рівні шуму на робочих місцях осіб, що працюють з відеотерміналами та ЕОМ, визначені ДСанПіН 3.3.2.007-98;

для забезпечення нормованих рівнів шуму у виробничих приміщеннях та на робочих місцях застосовуються шумопоглинальні засоби, вибір яких обґрунтовується спеціальними інженерно-акустичними розрахунками;

як засоби шумопоглинання повинні застосовуватися негорючі або важкогорючі спеціальні перфоровані плити, панелі, мінеральна вата з максимальним коефіцієнтом звукопоглинання в межах частот 31,5 – 8000 Гц, або інші матеріали аналогічного призначення, дозволені для оздоблення приміщень органами державного санітарно-епідеміологічного нагляду. Крім того, необхідно застосовувати підвісні стелі з аналогічними властивостями;

рівні вібрації під час виконання робіт з ЕОМ у виробничих приміщеннях не повинні перевищувати допустимих значень, визначених в СН 3044-84 “Санитарные нормы вибрации рабочих мест”, затверджених Міністерством охорони здоров’я СРСР, та ДСанПіН 3.3.2.007-98 [57].

Вимоги до вентиляції, опалення та кондиціонування, мікроклімату

Приміщення з ЕОМ повинні бути обладнані системами опалення, кондиціонування повітря або припливно-витяжною вентиляцією відповідно до СНиП 2.04.05-91 “Отопление, вентиляция и кондиционирование”;

параметри мікроклімату, іонного складу повітря, вміст шкідливих речовин на робочих місцях, оснащених відеотерміналами, повинні відповідати вимогам пункту 2.4 СН 4088-86 “Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень”, затверджених Міністерством охорони здоров’я СРСР, ГОСТ 12.1.005-88 “ССБТ Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны” (пункт 1.4, таблиця 2.1) таблиця 4.1, СН 2152-80 “Санітарно-гігієнічні норми допустимих рівнів іонізації повітря виробничих та громадських приміщень”, затверджених Міністерством охорони здоров’я СРСР (таблиця 4.2);

для підтримки допустимих значень мікроклімату та концентрації позитивних та негативних іонів необхідно передбачити установки або прилади зволоження та/або штучної іонізації, кондиціонування повітря [56-58].

Вимоги щодо рівня неіонізуючих електромагнітних випромінювань, електростатичних та магнітних полів

Рівні електромагнітного випромінювання та магнітних полів повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.1.006-84 “ССБТ. Электромагнитные поля

радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля”, СН № 3206-85 “Гранично допустимі рівні магнітних полів частотою 50 Гц” та ДСанПіН 3.3.2.007-98;

рівні інфрачервоного випромінювання не повинні перевищувати граничних відповідно до ГОСТ 12.1.005-88 та СН № 4088-86 з урахуванням площі тіла, яка опромінюється, та ДСаПіН 3.3.2.007-98;

рівні ультрафіолетового випромінювання не повинні перевищувати допустимих відповідно до СН № 4557-88 “Санітарні норми ультрафіолетового випромінювання у виробничих приміщеннях”, затверджених Міністерством охорони здоров’я СРСР, та ДСанПіН 3.3.2.007-98;

гранично допустима напруженість електростатичного поля на робочих місцях не повинна перевищувати рівнів, наведених в ГОСТ 12.1.045 “ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля”, СН № 1757-77 “Санитарно-гигиенические нормы допустимой напряженности электростатического поля” та ДСанПіН 3.3.2.007-98;

потужність експозиційної дози рентгенівського випромінювання на відстані 0,05 м від екрана та корпусу відеотерміналу при будь-яких положеннях регулювальних пристроїв відповідно до Норм радіаційної безпеки України (НРБУ-97), затверджених постановою державного санітарного лікаря Міністерства охорони здоров’я України від 18.08.97 № 58, не повинна перевищувати $7,74 \cdot 10^{-12}$ А/кГ, що відповідає еквівалентній дозі 0,1 мбер/год (100 мкР/год);

Відповідно до ГОСТ 12.1.005-88 вміст озону в повітрі робочої зони не повинен перевищувати 0,1 мг/м² ; вміст оксидів азоту – 5 мг/м²; вміст пилу – 4 мг/м² [57] .

Таблиця 4.1 - Нормовані параметри мікроклімату для приміщень з ВДТ та ПЕОМ

Пора року	Категорія робіт згідно з ГОСТ 12.1.005-88	Температура повітря, °С оптимальна	Відносна вологість повітря, % оптимальна	Швидкість руху повітря, м/с оптимальна
Холодна	легка - 1а	22-24	40-60	0,1
	легка - 1б	21-23	40-60	0,1
Тепла	Легка – 1а	23-25	40-60	0,1
	Легка – 1б	22-24	40-60	0,2

Таблиця 4.2 - Рівні іонізації повітря приміщень при роботі на ВДТ та ПЕОМ (відповідно до СН 2152-80)

Р і в н і	Кількість іонів в 1 см ³ повітря	
	n^-	n^+
Мінімально необхідні	400	600
Оптимальні	1500-3000	3000-5000
Максимально допустимі	50000	50000

Вимоги електробезпеки

ЕОМ, периферійні пристрої ЕОМ (апарати управління, контрольно-вимірювальні прилади, світильники тощо), електропроводи та кабелі за виконанням та ступенем захисту мають відповідати класу зони за ПВЕ, мати апаратуру захисту від струму короткого замикання та інших аварійних режимів;

ЕОМ, периферійні пристрої ЕОМ повинні підключатися до електромережі тільки з допомогою справних штепсельних з'єднань і електророзеток заводського виготовлення, штепсельні з'єднання та електророзетки крім контактів фазового та нульового робочого провідників повинні мати спеціальні контакти для підключення нульового захисного провідника;

неприпустими є підключення ЕОМ, периферійних пристроїв ЕОМ та устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження ЕОМ до звичайної двопровідної електромережі, в тому числі – з використанням перехідних пристроїв;

заземлення повинно відповідати вимогам ДНАОП 0.00-1.21-98 “Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів”;

є неприпустимими:

- експлуатація кабелів та проводів з пошкодженою або такою, що втратила захисні властивості за час експлуатації, ізоляцією; залишення під напругою кабелів та проводів з неізольованими провідниками;

- застосування саморобних подовжувачів, які не відповідають вимогам ПВЕ до переносних електропроводок;

- користування пошкодженими розетками, вимикачами та іншими електровиробами, а також лампами, скло яких має сліди затепнення або випинання;

- підвішування світильників безпосередньо на струмопровідних проводах, обгортання електроламп і світильників папером, тканиною та іншими горючими матеріалами, експлуатація їх зі знятими ковпаками (розсіювачами);

- використання електроапаратури та приладів в умовах, що не відповідають вказівкам (рекомендаціям) підприємств-виготовлювачів [56, 57, 59].

Вимоги до обладнання

Відеотермінали, ЕОМ, ПЕОМ, спеціальні периферійні пристрої ЕОМ та устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження ЕОМ повинні відповідати вимогам чинних в Україні стандартів, нормативних актів з охорони праці та цих Правил. Відеотермінали, ЕОМ, ПЕОМ, спеціальні периферійні пристрої ЕОМ закордонного виробництва додатково повинні відповідати вимогам національних стандартів держав-виробників і мати

відповідну позначку на корпусі, в паспорті або іншій експлуатаційній документації;

за способом захисту людини від ураження електричним струмом відеотермінали, ЕОМ, периферійні пристрої ЕОМ та устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження ЕОМ повинні відповідати 1 класу захисту згідно з ГОСТ 12.2.007.0-75 “ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности” та ГОСТ 25861-83 “Машины вычислительные и системы обработки данных. Требования электрической и механической безопасности и методы испытаний” або повинні бути заземлені відповідно до ДНАОП 0.00-1.21-98 [56, 57];

вимоги до відеотерміналів наведені в таблиці 4.3;

вимоги щодо допустимих значень неіонізуючого електромагнітного випромінювання:

- напруженість електромагнітного поля на відстані 50 см навкруги ВДТ за електричною складовою не повинна перевищувати:

у діапазоні частот 5 кГц – 2 кГц – 25 В/м;

у діапазоні частот 2 кГц – 400 кГц – 2,5 В/м;

- щільність магнітного потоку не повинна перевищувати:

у діапазоні частот 5 кГц – 2 кГц – 250 нТл;

у діапазоні частот 2 кГц – 400 кГц – 25 нТл;

- поверхневий електростатичний потенціал не повинен перевищувати 500 В;

- потужність дози рентгенівського випромінювання на відстані 5 см від екрану та інших поверхонь ВДТ не повинна перевищувати 100 мкР/год [57].

Вимоги до організації робочого місця користувача ЕОМ:

- організація робочого місця користувача відеотерміналу та ЕОМ повинна забезпечувати відповідність усіх елементів робочого місця та їх розташування ергономічним вимогам ГОСТ 12.2.032-78 “ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования”;

характеру та особливостям трудової діяльності; площа, виділена для одного робочого місця з відеотерміналом або персональною ЕОМ, повинна складати не менше 6 м², а обсяг – не менше 20 м³.

- робочі місця з відеотерміналами відносно сітлових прорізів повинні розміщуватися так, щоб природне світло падало збоку, переважно зліва;

- при розміщенні робочих місць з відеотерміналами та персональними ЕОМ необхідно дотримуватись таких вимог:

- робочі місця з відеотерміналами та персональними ЕОМ розміщуються на відстані не менше 1 м від стін зі світловими прорізами;

- відстань між бічними поверхнями відеотерміналів має бути не меншою за 1,2 м;

- організація робочого місця користувача ЕОМ повинна забезпечувати відповідність усіх елементів робочого місця та їх розташування ергономічним вимогам відповідно до ГОСТ 12.2.032-78 “ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования”; конструкція робочого місця користувача відеотерміналу (при роботі сидячи) має забезпечувати підтримання оптимальної робочої пози з такими ергономічними характеристиками: ступні ніг – на підлозі або на підставці для ніг; стегна – в горизонтальній площині; передпліччя – вертикально; лікті – під кутом 70° - 90° до вертикальної площини; зап'ястя зігнуті під кутом не більше 20° відносно горизонтальної площини, нахил голови – 15° - 20° відносно вертикальної площини;

висота робочої поверхні столу для відеотерміналу має бути в межах 680-800 мм, а ширина – забезпечувати можливість виконання операцій в зоні досяжності моторного поля. Рекомендовані розміри столу: висота – 725 мм, ширина – 600 – 1400 мм, глибина - 800 – 1000 мм;

робочий стіл для відеотерміналу повинен мати простір для ніг висотою не менше 600 мм, шириною не менше 500 мм, глибиною на рівні колін не менше 450 мм, на рівні витягнутої ноги – не менше 650 мм;

робочий стіл для відеотерміналу, як правило, має бути обладнаним підставкою для ніг шириною не менше 300 мм та либиною не менше 400 мм, з можливістю регулювання по висоті в межах 150 мм та кута нахилу опорної поверхні – в межах 20°. Підставка повинна мати рифлену поверхню та бортик на передньому краї заввишки 10 мм;

робоче сидіння користувача відеотерміналу та персональної ЕОМ повинно бути підйомно-поворотним, таким, що регулюється за висотою, кутом нахилу сидіння та спинки, за відстанню спинки до переднього краю сидіння, висотою підлокітників;

регулювання кожного параметра має бути незалежним, плавним або ступінчатим, мати надійну фіксацію. Хід ступінчатого регулювання елементів сидіння має становити для лінійних розмірів 15 - 20 мм, для кутових – 2° - 5°; ширина та глибина сидіння повинні бути не меншими за 400 мм. Висота поверхні сидіння має регулюватися в межах 400 - 500 мм, а кут нахилу поверхні – від 15° вперед до 5° назад;

висота спинки сидіння має становити 300 ± 20 мм, ширина – не менше 380 мм, радіус кривизни в горизонтальній площині – 400 мм. Кут нахилу спинки повинен регулюватися в межах 0° – 30° відносно вертикального положення. Відстань від спинки до переднього краю сидіння повинна регулюватись у межах 260 – 400 мм;

для зниження статичного напруження м'язів рук необхідно застосовувати стаціонарні або знімні підлокітники довжиною не менше 250 мм, шириною – 50 – 70 мм, що регулюються по висоті над сидінням у межах 230 ± 30 мм та по відстані між підлокітниками в межах 350 – 500 мм;

екран відеотерміналу та клавіатура мають розташовуватися на оптимальній відстані від очей користувача, але не ближче 600 мм, з урахуванням розміру алфавітно-цифрових знаків та символів;

Таблиця 4.3 - Вимоги до відеотерміналів

Найменування параметрів	Значення параметра
Яскравість знака (яскравість фону), кд/м ²	від 35 до 120
Зовнішня освітленість екрана, лк	від 100 до 250
Контраст (для монохромних зображень)	від 3:1 до 1,5:1
Нерівномірність яскравості в робочій зоні екрана	не більше 1,7:1
Відхилення форми робочої зони екрана від прямокутності :	
- по горизонталі та вертикалі	не більше 2%
- по діагоналі	не більше 4% відношення суми коротких сторін до суми довгих
Різниця довжин рядків або стовпчиків	не більше 2% середнього значення
Розмір мінімального елемента зображення (пікселя) для монохромних зображень, мм	0,3
Допустима тимчасова нестабільність зображення (мигання)	не повинна бути зафіксована у 90 відсотків спостерігачів
Відбивна властивість, дзеркальне та змішане відображення (відблиск), % (допускається виконання вимог при застосуванні приєкранного фільтра)	не більше 1
Відношення ширини знака до його висоти для великих літер	від 0,7 до 0,9
Мінливість розміру знака	не більше 5% висоти
Ширина лінії контуру знака	0,15-0,1 висоти знака
Модуляція щодо яскравості растру:	
- для монохромних зображень	не більше 0,4
- для багатокорірних зображень	не більше 0,7
Відстань між рядками	не менше ширини контуру знака або одного елемента зображення

розташування екрану відеотерміналу має забезпечувати зручність зорового спостереження у вертикальній площині під кутом ± 30 від лінії зору працівника;

клавіатуру слід розміщувати на поверхні столу або на спеціальній, регульовуваній за висотою, робочій поверхні. Кут нахилу клавіатури має бути в межах 5-15 ;

розміщення принтера або іншого пристрою введення-виведення інформації на робочому місці забезпечувати добру видимість екрану відеотерміналу, зручність ручного керування пристроєм введення-виведення інформації в зоні досяжності моторного поля: по висоті 900-1300 мм, по глибині 400-500 мм [56, 57, 58].

Вимоги безпеки під час експлуатації ЕОМ

Користувачі ЕОМ повинні слідкувати за тим, що відеотермінали, ЕОМ, периферійні пристрої ЕОМ та устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження ЕОМ були справними і випробуваними відповідно до чинних нормативних документів;

щоденно перед початком роботи необхідно проводити очищення екрану відеотерміналу від пилу та інших забруднень;

під час виконання роботи відеотермінал та персональна ЕОМ повинні бути відключені від електричної мережі;

у разі виникнення аварійної ситуації необхідно негайно відключити відеотермінал та ЕОМ від електричної мережі;

при використанні з ЕОМ та відеотерміналами лазерних принтерів потрібно дотримуватись вимог Санітарних норм та правил устрою та експлуатації лазерів № 5804-91, затверджених Міністерством охорони здоров'я СРСР в 1991 р.;

при потребі, для захисту від електромагнітних, електростатичних та інших полів можуть застосовуватися спеціальні технічні засоби, що мають відповідний сертифікат або санітарно-гігієнічний висновок акредитованих органів щодо їх захисних властивостей;

є неприпустимими такі дії:

- виконання обслуговування, ремонту та зберігання біля відеотерміналу та ЕОМ паперу, дискет, інших носіїв інформації, запасних блоків, деталей тощо, якщо вони не використовуються для поточної роботи;

- робота з відеотерміналами, в яких під час роботи з'являються нехарактерні сигнали, нестабільне зображення на екрані тощо [57, 58].

Відпочинок оператора ЕОМ

Режим праці та відпочинку тих, хто працює з ЕОМ, визначається залежно від виконувальної роботи до ДСанПіН 3.3.2.007-98;

якщо проводиться психологічне розвантаження працівників, що виконують роботи з застосуванням ЕОМ, то воно повинно проводитись у спеціально обладнаних приміщеннях (кімната психологічного розвантаження) під час регламентованих перерв до методики проведення психофізіологічного розвантаження, викладеної в додатку 9 до ДСанПіН 3.3.2.-007-98;

приміщення для відпочинку осіб, які працюють з ЕОМ, призначені для приймання їжі, психологічного розвантаження, та інші побутові приміщення повинні обладнуватись відповідно до вимог СНиП 2.09.04-87 “Административные и бытовые здания”, з урахуванням максимальної кількості працівників, що одночасно працюють у зміні [58].

4.3 Забезпечення пожежної та вибухової безпеки при обробці статистичних даних

Будівлі та приміщення, в яких експлуатуються ЕОМ та виконуються їх обслуговування повинні відповідати вимогам:

СНиП 2.01.02-85 “Противопожарные нормы”;

ГОСТ 12.1.004-91 “ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования безопасности”;

ДНАОП 0.01-1.01-95 правил пожежної безпеки в Україні;

СНиП 2.08.02-89 “Общественные здания и сооружения” з доповненням, затвердженими наказом Держкоммистобудування України від 29.12.94 № 106;

для всіх споруд і приміщень, в яких експлуатуються відеотермінали та ЕОМ, повинна бути визначена категорія з вибухопожежної і пожежної безпеки відповідно до ОНТП 24-86 “Определение категорий помещений и

зданий по взрывопожарной и пожарной опасности”, затверджених МВС СРСР 27.02.86, та клас зони згідно з ПВЕ. Відповідні позначення повинні бути нанесені на вхідні двері приміщення;

будівлі і ті їх частини, в яких розташовуються ЕОМ, повинні мати не нижче II ступеня вогнестійкості. Якщо відповідно до СНиП 2.09.02-85 ці приміщення повинні бути відокремленими від приміщень іншого призначення пртипожежними стінами, то межа їх вогнестійкості визначається відповідно до СНиП 2.01.02-85;

стіни виготовляються з негорючих матеріалів. Дозволяється виготовляти їх зі скла та металевих конструкцій;

над і під залами ЕОМ, а також у сміжних з ними приміщеннях не дозволяється розміщення приміщень категорій А та Б по вибуховій безпеці;

сховища інформацій, приміщення для зберігання дискет і компактдисків треба розміщувати у відокремлених приміщеннях, які обладнанні негорючими стілажами та шафами. Зберігати дискети та компактдиски на стілажах потрібно у металевих касетах;

простір під знімною підлогою розділяють негорючими діафрагмами на відсіки площею не більше 250 м². Межа вогнестійкості діафрагми повинна бути не меншою за 0,75 год. Комунікації прокладають крізь діафрагми в спеціальних обоймах з застосування негорючих ущільнювачів для запобігання проникненню вогню з одного відсіку в інший, а також з підпільного простору в приміщення;

підпільний простір під знімною підлогою має бути оснащений системою автоматичної пожежної сигналізації та засобами пожежогасіння відповідно до вимог Переліку однотипних за призначенням об'єктів, які підлягають обладнанню автоматичними установками пожежогасіння та пожежної сигналізації, СНиП 2.04.09-84, з використанням димових пожежних сповіщувачів;

для промивки деталей необхідно застосовувати негорючі миючі засоби. Промивка ячійокта інших з'ємних обладнаньгорючими рідинами

допускається тільки в спеціальних приміщеннях, які обладнані приточно-втяжною вентиляцією;

у випадку необхідності проведення невеликого ремонту і технічного обслуговування ЕОМ безпосередньо в машинному залі та неможливістю застосування негорючих миючих засобів дозволяється мати в залі не більше 0,5 літрів легко запальної рідини в міцній та щільно закритій тарі;

приміщення, в яких розміщуються персональні ЕОМ та дисплейні зали (де обладнання систем автоматичного пожежогасіння не обов'язково), треба облаштувати переносними вуглекисневими вогнегасниками з розрахунком 2 шт. на кожні 20 м² площі приміщення з урахуванням гранично допустимої концентрації вогнегасної речовини;

підходи до засобів пожежогасіння повинні бути вільними;

персональні ЕОМ після завершення роботи на них повинні бути відключені від мережі;

не рідше одного разу в квартал необхідно виконувати очистку від пилу агрегатів та вузлів, кабельних каналів та міжпідлогового простору;

не дозволяється:

- розміщувати машинні зали ЕОМ в підвалах;
- виконувати роботи по ремонту вузлів (блоків) ЕОМ безпосередньо в машинному залі;
- зберігати постійно в залах ЕОМ дискети та компактдиски, інші носії інформації, запасні блоки і деталі (зберігатися там можуть тільки носії інформації, необхідні для поточної роботи);
- залишати без нагляду увімкнену в мережу ЕОМ, яка використовується для випробування контролю ЕОМ [55-59].

Постановка задачі: Визначити кількість заземлювачів і довжину сполучної смуги контурного заземлювального пристрою для дослідження матеріалів на тертя та зношування від статичної електрики. Опір контуру $R_n \leq 100$ Ом. Одиночний заземлювач – сталевий стрижень, ширина сполучної

смуги $b = 0,04$ м, глибина закладання $H = 2,1$ м (грунт – пісок). Відстань між кутками $a = 2,7$ (відношення $a/l = 1$).

Вхідні дані:

$K_{сез} = 2$ – коефіцієнт збільшення питомого опору ґрунту (коефіцієнт сезонності), пісок (табл. 3.3).

$l = 2,7$ м – довжина, заземлювачі – сталеві стрижні (табл. 3.4).

$d = 0,038$ м – діаметр (табл. 3.4).

$H = 2,1$ м – глибина закладення (табл. 3.4).

$b = 0,04$ м – ширина смугової сталі (табл. 3.4).

$r_{гн} = 10$ Ом, норма опору захисного заземлення (табл. 3.4).

$= 7 \cdot 10^2$ Ом м (табл. 3.1)

1. Діаметр стрижня беруть $d = 0,95b$, $= 7 \cdot 10^2$ Ом м. Опір одиничного заземлювача зі сталевих кутків визначаємо за формулою:

2. Орієнтовно взявши кількість забитих кутків $n = 3$, визначаємо довжину сполучних смуг:

Глибина закладення смуги

3. Опір розтікання струму в землі від сталевих смуг

4. Опір контурного заземлювального пристрою:

Отримане значення опору контурного заземлювального пристрою менше нормованого (р.з. менше 100 Ом), тому беремо кількість заземлювачів $n = 3$, довжина сполучних смуг $l = 8$ м.

Висновки до розділу 4

Таким чином при виконання досліджень по визначенню властивостей товщини масляної плавки та обробці даних на комп'ютерах необхідно строго підтримувати рекомендації при роботі за комп'ютером. В протилежному випадку наступить помітне зменшення працездатності людини від втому під час обробки досліджень

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

5.1 Аналіз екологічної небезпеки експлуатації та ремонті літака

На сьогоднішній день охорона навколишнього середовища є однією із важливих проблем людства. Загальною метою охорони навколишнього середовища є ефективні заходи направлені на збереження чистоти середовища проживання людини, більш ефективне використання природних ресурсів.

В експлуатаційних та ремонтних підприємствах ЦА найбільш актуальним направленням діяльності по зменшенню впливу на навколишнє середовище є наступне:

- зниження забрудненості атмосферного повітря шкідливими речовинами від двигунів повітряних суден та наземної техніки;
- виключити подразнюючий вплив авіаційних та інших промислових шумів;
- захист від впливу електричних полів, утилізація відходів діяльності скорочення викидів неочищених стічних вод та шкідливих викидів на території авіапідприємств;

Для запобігання забрудненню ґрунту при технічному обслуговуванні на місцях стоянки повітряних суден передбачаються резервуари для збирання відстою мастила і спеціальних піддонів для виключення протікання мастила при заміні агрегатів шасі .

Шкідливими продуктами згорання авіаційних палив в двигуні повітряного судна та спецавтотранспорту є: окис вуглецю, не згорівший вуглець, окис азоту та сірки, сажа та кіптява.

Суворе виконання правил зберігання, транспортування та використання ПММ може попередити потрапляння в атмосферу та ґрунтові води тяжких вуглецевих фракцій, двоокису азоту, сірководню.

На площадках періодичного технічного обслуговування повітряних суден передбачаються стічні канавки зі стоком у резервуари, куди разом з паливом, хімічними рідинами стікають опади, змиті з поверхні площадки.

Збір відпрацьованого ПММ в спеціальні ємності та наступна їх переробка дозволить раціонально використовувати природні ресурси землі.

5.2 Розрахунок контрольного параметру емісії двигуна Д-30КУ-154 на відповідність емісійним вимогам ІСАО

Вміст інгредієнтів CO і C_xH_y у відпрацьованих газах авіадвигунів обумовлений неповним згоранням палива в двигуні, яке залежить від характеристики його камери згорання (величини коефіцієнта повноти згорання η) і режиму роботи двигуна.

Максимальна повнота згорання палива в двигуні має місце на розрахунковому режимі – злітному (режимі максимальної тяги двигуна).

На цьому режимі сучасні двигуни мають $\eta = 0,97...0,99$. ($\eta = 1,0$ при абсолютно повному згоранні, чого в дійсності досягнути неможливо). На всіх інших режимах величина η нижча, тобто повнота згорання менша, ($\eta = 0,75...0,85$), у двигуна в атмосферу викидається більше продуктів неповного згорання (CO і C_xH_y та інших), і забруднення повітря збільшується.

Вміст інгредієнта NO_x у відпрацьованих газах авіадвигуна залежить від величини температури суміші в камері згорання (чим вона вища, тим більше утворюється NO_x), а вона максимальна (досягає 2500 – 3000 К) на злітному режимі, і часу перебування суміші в камері згорання (чим він більший, тим більше утворюється NO_x), а це має місце на невеликих швидкостях літака. Тобто, максимальний викид NO_x має місце на злітному режимі двигуна і висоти польоту.

Очевидно, що в зоні аеропорту емісія двигуна залежить від режиму його роботи і тривалості роботи на цьому режимі.

Під зоною аеропорту будемо розуміти простір, обмежений висотою 100 м. і розмірами аеродрому. Двигуни сучасних авіалайнерів працюють в зоні аеропорту на таких режимах і такій тривалості роботи.

$$\bar{R} = \frac{R}{R_0}, \quad (5.1)$$

де R – тяга двигуна на заданому режимі;

R_0 – тяга двигуна на злітному режимі (максимальна тяга).

В таблиці наведені середньостатистичні значення параметрів (\bar{R} и t) для великих аеропортів світу.

Як видно з таблиці, найбільш тривалим і екологічно небезпечним є режим малого газу. Значення величини тяги на цьому режимі для сучасних авіадвигунів складає 3 %...9 % від її максимального значення R_0 . цей режим використовується під час руління повітряного корабля перед зльотом і після посадки, а також під час прогрівання двигуна після запуску. Тривалість режиму руління залежить від розмірів аеропорту, часу доби вильоту і прильоту, інтенсивності польотів і метеоумов.

Для типового сучасного двигуна залежність емісії шкідливих речовин від режиму його роботи має такий вигляд (рисунок 5.1).

Визначаючи під час сертифікаційних випробувань індекси емісії шкідливих речовин на відповідних режимах роботи двигуна, знаходять контрольний параметр емісії $\frac{M_i}{R_0}$ випробуваного двигуна, по якому

установлені норми ІСАО:

$$\left[\frac{M_i}{R_0} \right] = \frac{z}{\kappa H}, \quad (5.2)$$

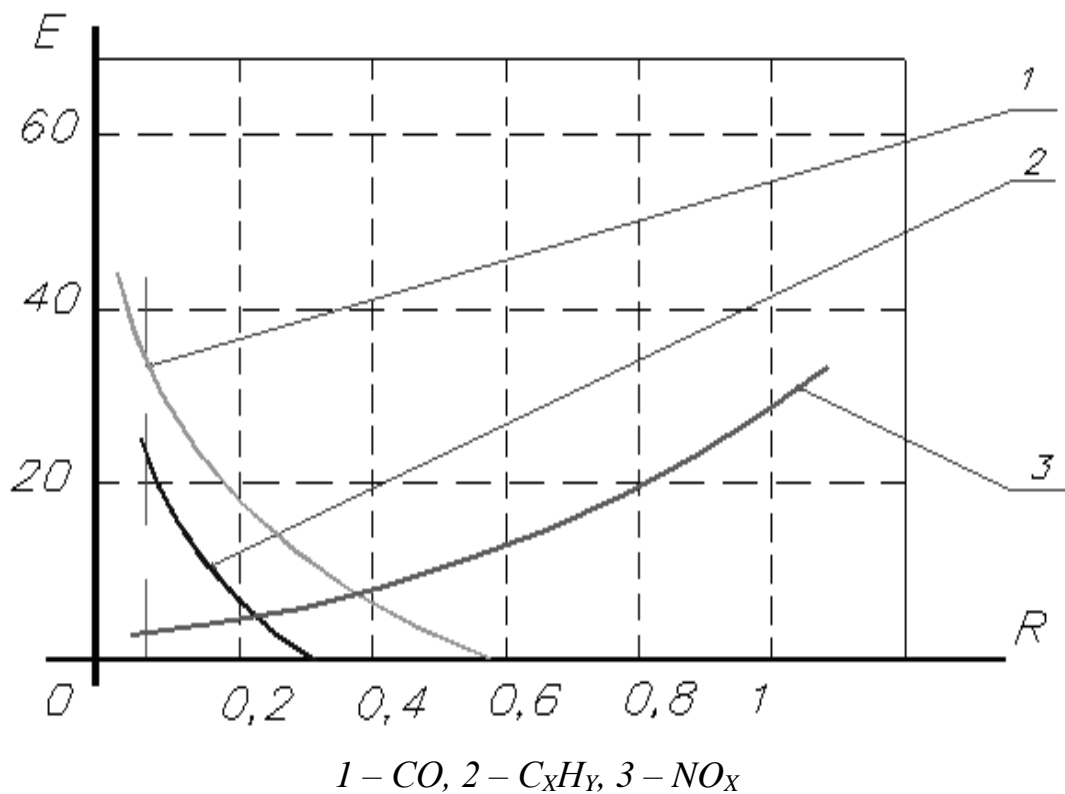


Рисунок 5.1 - Залежність емісії шкідливих речовин від режиму роботи АД

Цей параметр, кажуть, характеризує, “ступінь шкідливості” двигуна.

В ньому:

M_i – маса в грамах викинутої і-тої шкідливої речовини (інгредієнта)

за деякий визначений час роботи двигуна;

R_0 – злітна тяга двигуна в кілоньютонах.

Норми ІСАО по контрольному параметру емісії для двигунів на сьогоднішній день такі:

$$\frac{M_{CO}}{R_0} = 118 \frac{г}{кН};$$

$$\frac{M_{C_xH_y}}{R_0} = 19.6 \frac{г}{кН};$$

$$\frac{M_{NO_x}}{R_0} = (40...80) \frac{г}{кН}$$

Емісія двигунів повітряного корабля буде не однакою в зоні аеропорту і під час польоту по маршруту, так як двигуни в цих випадках працюють на принципово різних режимах. В цьому плані, як видно з графіка наведеного на рисунок 5.1, забруднення в зоні аеропорту є “більш шкідливим” (на маршруті $\bar{R}=0,6 \dots 0,8$). Крім того, локальне забруднення приземного шару повітря в зоні аеропорту, де працює багато людей є більш концентрованим і більш стійким, ніж загальне забруднення верхніх шарів тропосфери на маршруті польоту, яке швидко розсіюється. І за цими обставинами забруднення в зоні аеропорту є “більш шкідливим”. Тому і розрахунок емісії двигунів повітряних кораблів в зоні аеропорту є більш важливим, і ми приділимо йому більш уваги, ніж розрахунку під час польоту по маршруту.

“Ступінь шкідливості ” кожного авіадвигуна характеризується, як було сказано вище, його контрольними параметрами емісії за різними інгредієнтами - $\frac{M_i}{R_0}$. Тобто, задача розрахунку емісії двигуна зводиться до визначення маси кожного інгредієнта, викинутого з двигуна за деякий визначений час його роботи, - M_i (тому що R_0 - тяга двигуна на злітному режимі – величина, відома з документації, зокрема з формуляра двигуна).

Будемо розраховувати величини M_i для зони аеропорту (з наведених вище міркувань), тобто $M_i = M_{i,d}$ на тих режимах і за той період часу його роботи, поки повітряне судно знаходиться в цій зоні з працюючими двигунами.

А повітряне судно в зоні аеропорту щонайменше здійснює зльотно – посадковий цикл польоту, який складається з таких етапів:

- Запуск та прогрівання двигунів,
- Руління на виконавчий старт,
- Зліт,
- Набір висоти 1000 м,
- Зниження з висоти 1000 м,

- Пробіг,
- Руління до зупинки двигунів.

Проте двигуни корабля на цих етапах працюють на різних режимах. Тому для зручності розрахунку розділимо злітно – посадковий цикл повітряного корабля на два види операцій: наземні операції і операції зліт – посадка, тобто:

$$V_{ian} = V_{iy} + M_{ip-g} \quad (5.3)$$

Наземні операції – це запуск двигунів, їх прогрівання, руління корабля перед злетом і після посадки. Головною характеристикою цих операцій (з точки зору розрахунку емісії двигуна) є те, що двигуни повітряного корабля працюють на одному режимі – режимі малого газу (холостого ходу) – і за часом – це самі тривалі операції в зоні аеропорту. Ця обставина спрощує розрахунок.

$$M_{in} = K_{in} \cdot G_{nn},$$

K_{in} – коефіцієнт викиду і-го інгредієнта під час наземних операцій (таблиця 5.2).

G_{nn} – маса пального (кг), витраченого двигуном ПК під час наземних операцій злітно-посадкового циклу.

$$G_{gy} = C_{gbn/vu} \cdot R_{vu} \cdot t_{vu} \quad (5.4)$$

де $C_{nut.mg}$ – питома витрата пального під час роботи двигуна на режимі

МГ, (кг/Н·год);

R_{mg} – тяга двигуна на режимі МГ, (Н);

t_{mg} – напрацювання двигуна на режимі МГ, (годин).

M_{iz-n} – сумарний викид і-их шкідливих речовин (ШР) при операціях зліт-посадка, кг. Операції зліт посадка – це зліт, набирання висоти 1000м, зниження з висоти 1000 м і посадка.

В даному випадку для розрахунку емісії двигунів ПК, який знаходиться в повітрі, емісійною характеристикою є масова швидкість

емісії W_i (кг.інгр./год), яка показує, скільки даної шкідливої речовини виділяється на даному режимі роботи двигуна за одиницю часу.

Маса викидів ШР при злітно-посадкових операціях :

$$M_{i3-n} = W_{i1} \cdot T_{13-n} + W_{i2} \cdot T_{23-n} + W_{i3} \cdot T_{33-n}, \quad (5.3)$$

де $T_{1,2,3 \text{ з-н}}$ - режимне напрацювання двигуна відповідно на зльоті, під час набирання висоти 1000 м і під час зниження з висоти 1000 м, (год);

$W_{i1,2,3}$ - масова швидкість емісії i -го інгредієнта при відповідних режимах роботи двигуна відповідно на зльоті, під час набирання висоти 1000м і під час зниження з висоти 1000 м, (кг/год).

Дані зведені в таблицю 5.3, 5.4.

Дані для розрахунків контрольних параметрів емісії двигунів Д-30КУ-154 літака Ту-154 за інгредієнтами CO , C_xH_y , NO_x :

Технічні характеристики двигуна:

$$R_o = 4200 \text{ Н};$$

$$R_{\text{мг}} = 378 \text{ Н};$$

$$C_{\text{пт.мг}} = 0,069 \text{ кг}/(\text{Н} \cdot \text{год});$$

З табл. 3.3 маємо:

$$T_{\text{мг}} = 2\text{хв} = 0,367 \text{ год};$$

$$T_{13-\text{п}} = 0,7\text{хв} = 0,0117 \text{ год};$$

$$T_{23-\text{п}} = 2,2\text{хв} = 0,0367 \text{ год};$$

$$T_{33-\text{п}} = 4\text{хв} = 0,067 \text{ год};$$

тоді $G_{\text{пн}} = 0,069 \cdot 378 \cdot 0,033 = 0,86 \text{ кг};$

Визначаємо масу кожного інгредієнту, яка була викинута двигуном при роботі на землі:

$$M_{\text{co}} = 0,035 \cdot 0,86 = 0,03 \text{ кг};$$

$$M_{\text{сн}} = 0,015 \cdot 0,86 = 0,013 \text{ кг};$$

$$M_{\text{NO}} = 0,005 \cdot 0,86 = 0,0043 \text{ кг};$$

$$M_{\text{соз-п}} = 2,65 \cdot 0,01 + 2,4 \cdot 0,0367 + 2,4 \cdot 0,1 = 0,35 \text{ кг};$$

Таблиця 5.1 - Технічні характеристики двигуна

$$M_{NO3-P} = 3,5 \cdot 0,01 + 2 \cdot 0,0367 + 2,5 \cdot 0,1 = 0,358 \text{ кг};$$

№ режиму	Найменування режиму роботи двигуна	Відносна тяга, \bar{R}	Тривалість режиму t, хв
1	Запуск, прогрів, руління (режим земного МГ)	0,07	2
2	Зліт	1	0.6
3	Набір висоти 1000 м	0,85	2.2
4	Захід на посадку	0,3	4
5	Руління після посадки	0,07	6

Розраховуємо масу шкідливих викидів в зоні аеропорту:

$$M_{CO} = 0,03 + 0,35 = 0,38 \text{ кг}; M_{CH} = 0,013 + 0,075 = 0,088 \text{ кг};$$

$$M_{NO} = 0,0043 + 0,358 = 0,362 \text{ кг};$$

Норми ІСАО по контрольному параметру емісії для авіаційних двигунів на сьогоднішній день такі :

$$M_{CO}/R_o = 118 \text{ г/кН}; M_{CH}/R_o = 19.6 \text{ г/кН}; M_{NO}/R_o = 80 \text{ г/кН};$$

де R_o – злітна тяга двигуна в кН;

$$M_{CO}/R_o = 380/4,2 = 90,4 < 118 \text{ г/кН}; M_{CH}/R_o = 88/4,2 = 20,9 > 19.6 \text{ г/кН};$$

$$M_{NO}/R_o = 362/4,2 = 86,2 > 80 \text{ г/кн.};$$

Таблиця 5.2 - Норми ІСАО по контрольному параметру емісії

№ режиму	Найменування режиму роботи двигуна	Відносна тяга, \bar{R}	Тривалість режиму, t хв.
1	Режим малого газу (холостого ходу) під час руління перед зльотом	0,07	15
2	Злітний режим	1	0,7
3	Режим набору висоти (1000 м.)	0,85 – 0,9	2,2
4	Режим заходу на посадку	0,3 – 0,42	4
5	Режим малого газу (холостого ходу) під час руління після посадки	0,07	7

Таблиця 5.3 - Норми ІСАО по контрольному параметру емісії

Шкідливі речовини	CO	C_xH_y	NO_x
<i>K_{ін}</i> , (кг інгр./кг палива) для двигуна Д-30КУ-154	0,035	0,015	0,005

Таблиця 5.4 - Норми ІСАО по контрольному параметру емісії

Масова швидкість емісії, кг інгр./год	Режим роботи двигуна		
	Зльотний	Крейсерський	Номінальний
<i>W_{CO}</i>	2,65	2,4	2,4
<i>W_{CH}</i>	0,5	0,55	0,5
<i>W_{NO}</i>	3,5	2	2,5

Висновок до розділу 5

Для зменшення емісії продуктів згоряння палива $СН$ при конструюванні необхідно збільшити η_r . Цього можна досягти завдяки застосуванню систем попереднього випаровування палива, збагаченням паливно-повітряної суміші в зоні згоряння та збільшення числа зон згоряння в КЗ, шляхом включення або відключення частини форсунок. Ці конструктивні заходи приводять до зниження $С_{уд}$, і до зниження індексу емісії.

Для зниження емісії NO застосовують наступні конструктивні рішення: вприскування води в зону згоряння; застосування дво- або багатозонних КЗ; застосування в КЗ каталітичного горіння, при якому температура газів в зоні згоряння зменшується. У двозонних КЗ паливо згоряє в два етапи в різних частинах камери, при цьому в першій зоні забезпечується оптимальне згоряння палива на режимі МГ, у другій зоні забезпечується оптимальний процес згоряння та необхідна тяга.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ З РОБОТИ

На основі виконаних досліджень, можна зробити наступні висновки:

Дослідження нестационарних процесів при роботі с частими пусками-зупинками та змінюючою температурою проводились в умовах моделювання на машині СМЦ-1, яка забезпечена керуючим електронним блоком, що дозволяє в широкому діапазоні змінювати параметри нестационарності. Використання модельної установки дозволило підтвердити вірність прийнятих критеріїв оцінки та встановити достовірність методики прискорених випробувань.

При неусталених та усталених умовах тертя виявлено існування змащувальної дії, яке виражене в зменшенні товщини змащувального шару вуглеводневих рідин. Це зниження приводить, на окремих змащувальних матеріалах, до схоплювання або викришування контактних поверхонь, відбувається при динамічному (позитивному та негативному прискоренні при роботі в режимі пусків і зупинок) та температурному (зміна температури) факторів та пов'язано зі зміною природи поточних граничних процесів, руйнування раніше сформованих адсорбційних змащувальних шарів і створюванням граничних шарів нової природи хемосорбційних змащувальних шарів – самогенеруючих органічних плівок (СОП).

Для неусталених режимів роботи (часті пуски-зупинки та зміна температури) встановлені критерії, які характеризують змащувальну здатність окремих вуглеводневих рідин:

- питома робота тертя;
- температура початку руйнування СОП;
- максимальна товщина змащувального шару;
- робочий діапазон температур.

Питома робота тертя характеризує при роботі в умовах пусків-зупинок витрати: потужності, нагрівання, схильність пари тертя до схоплювання. Зміна питомої роботи тертя в процесі досліджень у великій степені характеризує надійність змащувальної дії, ніж коефіцієнт тертя.

В умовах неусталених режимів роботи індивідуальних ВГВ рідин (часті пуски і зупинки) виявлені великі значення товщини змащувального шару, ніж при встановленому режимі. Причиною цього являється інтенсивний ріст СОП, яка при динамічному факторі (позитивному та негативному прискореннях і роботі в режимі частих пусків і зупинок) формується швидше і має більшу товщину і міцність, ніж при усталеному режимі роботи.

Індивідуальні вуглеводневі рідини з великою молекулярною вагою (довжина ланцюга молекул) мають більшу товщину змащувального шару, а отже, і СОП.

Змащувальний шар і СОП сформований індивідуальними вуглеводнями з більшою молекулярною вагою, які володіють великою міцністю, зберігають свої змащувальні властивості в широкому діапазоні температур (до 180 °С) і навпаки, вуглеводні з низькою молекулярною вагою формують дуже тонкий і нестабільний змащувальний шар, який майже при кімнатних температурах (28 °С) приводить до схоплювання.

В умовах усталених та неусталених режимах роботи для нафтових та парафінових вуглеводневих рідин виявлені різні характеристики змащування для вуглеводнів з однаковою молекулярною вагою. Нафтові вуглеводневі рідини при молекулярній вазі 132 забезпечують досить добрі характеристики змащування (максимальна товщина змащувального шару, температура початку руйнування СОП, робочий діапазон температур), а парафінові вуглеводневі рідини при молекулярній вазі 142 практично не забезпечують змащувальної дії. Це пояснюється структурною будовою вуглеводневих рідин. Нафтові ВГВ формують на поверхні металу змащувальний шар у вигляді структури алмазу, який характеризується великою міцністю. Парафінові ВГВ формують на поверхні металу змащувальний шар у вигляді ворсу.

РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Не використовувати для виробництва мастил наповнювачів низькомолекулярні вуглеводні з атомною вагою для парафінових не нижче 240, а для нафтових 132.

2. Використовувати наповнювачі мастила у більшій степені вуглеводневі рідини нафтового класу.

3. Проведені дослідження індивідуальних вуглеводневих рідин парафінового та нафтового ряду дозволяють оцінити змащувальні властивості наповнювачів, мастил (без присадок) і дають можливість рекомендувати в якості вибору основи мастила вуглеводні, які формують змащувальний шар, що забезпечує оптимальну змащувальну дію, яка відповідає визначеному діапазону температур:

Парафінового ряду

н-Докозан	для	100 ÷ 150°C
н-Октадекан	для	96 ÷ 110°C
н-Гептадекан	для	80 ÷ 95°C

Нафтового ряду

Декалін	для	70 ÷ 96°C
Тетралін	для	65 ÷ 85°C

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Gurt, A.; Khonsari, M. The Use of Entropy in Modeling the Mechanical Degradation of Grease. *Lubricants* 2019, 7, 82.
2. Zhou, Y.; Bosman, R.; Lugt, M. On the Shear Stability of Dry and Water- Contaminated Calcium Sulfonate Complex Lubricating Greases. *Tribol. Trans.* 2019, 62, 626–634.
3. Rezasoltani, A.; Khonsari, M.M. On the Correlation between Mechanical Degradation of Lubricating Grease and Entropy. *Tribol. Lett.* 2014, 56, 197– 204.
4. Martin D.A., Borgese S.F., Edernardt A.D. “Jornal of Basic Engng” 2006 г., 88, p.555.
5. Pepler W. “Druckii bert ragung angeschmierten” Zylindrischem Cleitund Walsxlachen. *VDI. Forschungshext*, 2008, № 391, p.132.
6. Johnson R.L., Cameron R. “Shear behaviour of elastohydrodynamic oil films at high rolling contact pressures” *Proc. Inst. Mech. Engrs.* Vol. 182, pt.1, 2017-68, № 14.
7. Lundberg, J.; Höglund, E. A New Method for Determining the Mechanical Stability of Lubricating Greases. *Tribol. Int.* 2000, 33, 217–223.
8. Salomonsson, L.; Stang, G.; Zhmud, B. Oil/Thickener Interactions and Rheology of Lubricating Greases. *Tribol. Trans.* 2007, 50, 302–309.
9. Sternlicht B., Lewis P., Flynn P. “Theory of lubrication and failure of rolling contacts” *Journal of Basic Engng.* Vol. 83D, 2001, № 2.
10. Stetefeld, J.; McKenna, S.A.; Patel, T.R. Dynamic light scattering: A practical guide and applications in biomedical sciences. *Biophys. Rev.* 2016, 8, 409–427.
11. Cheng H.S., Sternlicht B.A. “Numerical solution for pressure, temperature and film thickness between to lubricated cylinders” *Journal of Basic Engng.* Vol.87D, 1965, № 3.
12. Райко М.В. “О состоянии смазочного слоя в контакте с малыми скоростями качения и о возможностях некоторых методов измерения этих слоев” В сборнике: Прикладная механика, КИИГА, 1971 г., № 4, стр. 37-43.

13. Cameron A., Cohar R. Theoretical & Experimental Studies of the Dil – Film in Lubrication Point Contact, Proceedings of the Royal Society, Series A., 1996, pp. 291, 520.

14. Bell J.C., Kannel J.W. “Aspects of lubrication affecting life of rolling bearings” – Proc. ASME Ohio, 2010, № 5, pp. 28-32.

15. Сенборн, Винер “Влияние реологических свойств жидкости на упругодинамический контакт при скольжении в условиях переменной нагрузки” Н.1, Толщина плёнки. – Проблемы трения и смазки. Изд. Мир. 1991 г., № 2 стр.12-15.

16. French, R.A.; Jacobson, A.R.; Kim, B.; Isley, S.L.; Penn, R.L.; Baveye, C. Influence of ionic strength, pH, and cation valence on aggregation kinetics of titanium dioxide nanoparticles. Environ. Sci. Technol. 2009, 43, 1354– 1359.

17. Райко М.В. “О влиянии электрического тока на толщину смазочного слоя” В сб.: Прикладная механика, вып.2, КИИГА 1969 г., стр.34-39.

18. Венцель С.В. “Смазка и долговечность двигателей внутреннего сгорания” К.Техника 1997 г., стр.22-25.

19. Райко М.В. “О свойствах смазочных материалов при высоких температурах” Тр. КИИГА вып.ХП М., издательство Аэрофлота 1984 г., стр.39-49.

20. Fein R. S., Kreuz K. L. ASLE-Trans., Vol.8., 1965, № 1, pp.54-79.

21. Chaikin S.W. Wear Vol.10, 1966, № 1, pp.12-34.

22. Thibault, R.; (Contributing Editor). Grease Basics Part II: Selection & Applications. Efficient Plant. September/October 2009. Available online: <https://www.efficientplantmag.com/2009/09/grease-basicspart-ii-selection-a-applications/> (accessed on 26 February 2020).

23. Mota,V.;Ferreira, L.A. Influence ofgrease composition onrolling contact wear: Experimentalstudy. Tribol.Int. 2009, 42, 569–574.

24. Аксёнов А.Ф., Бородин А.Е., Литвинов А.А., “Влияние химического состава авиационных топлив на основной износ топливных

агрегатов. Повышение износостойкости и срока службы машин” вып.П, Киев, НТОМашпром, 1990 г., 117 стр.

25. Литвинов А.А. “Исследования физико-химических взаимодействий авиационных топлив с металлами при фрикционном качении” Диссертация на соискание учёной степени к.т.н., Киев КИИГА, 1970г., 167стр.

26. Кадомский В.П. Райко М.В., “Особый режим трения – трение со смазкой органическими плёнками, генерируемыми смазочными маслами” В книге: “Физико-химическая механика контактного взаимодействия и фреттинг - коррозия” Киев КИИГА 1993г., стр.81-82.

27. Райко М.В., Павлов В.Н., Кадомский В.П., Белоус В.С. “Исследования влияния твёрдых органических плёнок на усталостную долговечность контактирующих поверхностей” Тезисы докладов Всесоюзной конференции: Контактно-гидроинамическая теория смазки и её практическое применение в технике. Куйбышев, 1976г., стр.113-117.

28. Sonali, J.; Sandhyarani, N.; Sajith, V. Tribological properties and stabilization study of surfactant modified MoS₂ nanoparticle in 15W40 engine oil. *Int. J. Fluid Mech. Mach.* 2014, 1, 1–5.

29. Райко М.В. “Исследование смазочного действия нефтяных масел в условиях работы зубчатых передач” Диссертация на соискание учёной степени д.т.н., Киев, КИИГА, 1994 г., 369 стр.

30. Hotze, E.M.; Phenrat, T.; Lowry, G.V. Nanoparticle aggregation: Challenges to understanding transport and reactivity in the environment. *J. Environ. Qual.* 2010, 39, 1909–1924.

31. Канарчук Е.А. Канарчук В.Е. “Влияние режимов работы на износ двигателей внутреннего сгорания” Киев, Наукова думка, 1970г., 312 стр.

32. Lundberg, J.; Höglund, E. A New Method for Determining the Mechanical Stability of Lubricating Greases. *Tribol. Int.* 2000, 33, 217–223.

33. Salomonsson, L.; Stang, G.; Zhmud, B. Oil/Thickener Interactions and Rheology of Lubricating Greases. *Tribol. Trans.* 2007, 50, 302–309.

34. Liu, J.; Lozano-Perez, S.; Karamched, P.; Holter, J.; Wilkinson, A.J.;

Grovenor, C.R.M. Forescattered electron imaging of nanoparticles in scanning electron microscopy. *Mater. Sci.* 2019, 155, 109814.

35. Bondi, A.; Cravath, A.M.; Moore, R.J.; Peterson, W.H. Basic Factors Determining the Structure and Rheology of Lubricating Grease. *Inst. Spokesm.* 1950, 13, 12–18.

36. Singera, A.; Barakat, Z.; Mohapatra, S.; Mohapatra, S.S. Chapter 13—Nanoscale Drug-Delivery Systems: In Vitro and In Vivo Characterization. In *Nano-Carriers for Drug Delivery: Nanoscience and Nanotechnology in Drug Delivery*, 1st ed.; Mohapatra, S.S., Ranjan, S., Dasgupta, N., Mishra, R.K., Thomas, S., Eds.; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2019; pp. 395–419.

37. Stetefeld, J.; McKenna, S.A.; Patel, T.R. Dynamic light scattering: A practical guide and applications in biomedical sciences. *Biophys. Rev.* 2016, 8, 409–427.

38. Veno T. *ASME*, 7, 2014, № 25, pp.62-76.

39. Christensen H., *ASLE – Trans.*, Vol.7, 1964, *Acta Politechn. Scand. Mech. Engn. ser.* 15, 2003, pp.212-263.

40. Cameron R. “Discussion on the Dyson Article”

41. Kannel J.W., Bell J.C., Alien C.M. “Methods for Determining Pressure Distributions in Lubricated Rolling Contact” *ASLE Trans.*, 8, 2015, pp.250.

42. Дроздов Ю.Н., Гавриков Ю.А., Решиков Б.Ф., “Исследование заедания смазывающихся поверхностей” *Известия ВУЗов, Машиностроение*, 1966г., № 5, стр.9-14.

43. Mac-Conochie J.C., Cameron A. *ASME- Paper*, № 58, 1992, pp.140-142.

44. Райко М.В. Кадомский В.П. “Исследования твёрдых плёнок на поверхностях трения методом электропроводности” *ФХММ*, 1991г., № 1, стр.18-23.

45. Axford, S.D.T. Aggregation of colloidal silica: Reaction-limited kernel, stability ratio and distribution moments. *J. Chem. Soc. Faraday Trans.* 1997, 93, 303–311.

46. Brix V.R. “An Electrical Discharge Study of Boundary Lubrication” *Aircraft Engineering*, Vol. XIX, 2017, № 223, pp.93-115.

47. Павлов В.Н. “Исследование смазочного действия масел в зубчатых передачах (с разработкой методов измерения толщины смазочного слоя)” Диссертация на соискание учёной степени к.т.н., Киев КИИГА, 1994г., стр.153.

48. Кадомский В.П. “Исследование смазочных слоев и твердообразнопластичных пленок образующихся в контакте деталей при качении скольжением” Диссертация на соискание ученой степени к.т.н. Киев КИИГА, 1991г.; 140 стр.

49. Тринайло М.С. “Исследование процесса смазки в зубчатых передачах с зацеплением М.Л.Новикова” Диссертация на соискание ученой степени к.т.н. Киев КПИ, 1996г.; 175 стр.

50. Wang, L.; Wang, B.; Wang, X.; Liu, W. Tribological investigation of CaF_2 nanocrystals as grease additives. *Tribol. Int.* 2007, 40, 1179–1185.

51. Bowden F.P., Tabor D. “Friction & Lubrication of Solids” Oxford, 2014, pp.176.

52. Wang, L.; Zhang, M.; Wang, X.; Liu, W. The preparation of CeF_3 nanocluster capped with oleic acid by extraction method and application to lithium grease. *Mater. Res. Bull.* 2008, 43, 2220–2227.

53. Ji, X.; Chen, Y.; Zhao, G. Tribological Properties of CaCO_3 Nanoparticles as an Additive in Lithium Grease. *Tribol. Lett.* 2011, 41, 113–119.

54. Мнацаканов Р.Г. “Влияние неустановившихся условий работы на смазочную способность масел и смазок при качении и качении со скольжением” Диссертация на соискание учёной степени к.т.н. Киев КИИГА 1986г.,

55. Жидетський В.Ц., Наватиканян О.О., Джигерей В.С. “Основи охорони праці” Підручник 2-е видання, Львів 2000 р. ст.251.

56. Буриченко Л.А. “Охрана труда в ГА” Издание третье переработаное и дополненное. Киев, Транспорт 2003 г., стр.223-228.

57. ДНАОП О.00-1.31-99 “Правила охорони праці під час експлуатації ЕОМ” ст.5-47.

58. ДСанПіН 3.3.2.007-98. “Державно-санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами” ст.53.

59. Пожежна безпека. Нормативні акти та інші документи. Т.1, Київ 1997р., ст.461-463.