

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 1

Фізичні властивості рідин і змащувальних матеріалів

ФІЗИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ, РЕЖИМИ ПРОЦЕСІВ ЗМАЩУВАННЯ ТА ТЕРТЯ

Що таке змащування?

Змащування. Призначення мастила.

Основні цілі мастила наступні:

- Утворення мастильної плівки на межі розділення між двома частинами зменшує кількість навантажень і, отже, продовження терміну експлуатації.
 - Для покращення сприятливих ходових характеристик, таких як низький рівень шуму або тертя.
 - Щоб запобігти перегріву підшипників і запобіганню погіршення мастильних матеріалів, випромінюючи утворене тепло назовні. Це особливо добре працює, якщо використовується циркуляційний метод змащування.
 - Для запобігання проникненню сторонніх матеріалів, іржі та корозії.
- Змащування (англійською *lubrication*), трибологія (англ. *tribol* — тертя), широко застосовуються ці поняття в будь-якій сфері, де є пари тертя (рис. 1.1).



Рис.1.1. Загальний вигляд схем пар тертя та товщі від в'язкості мастила [1, 47]

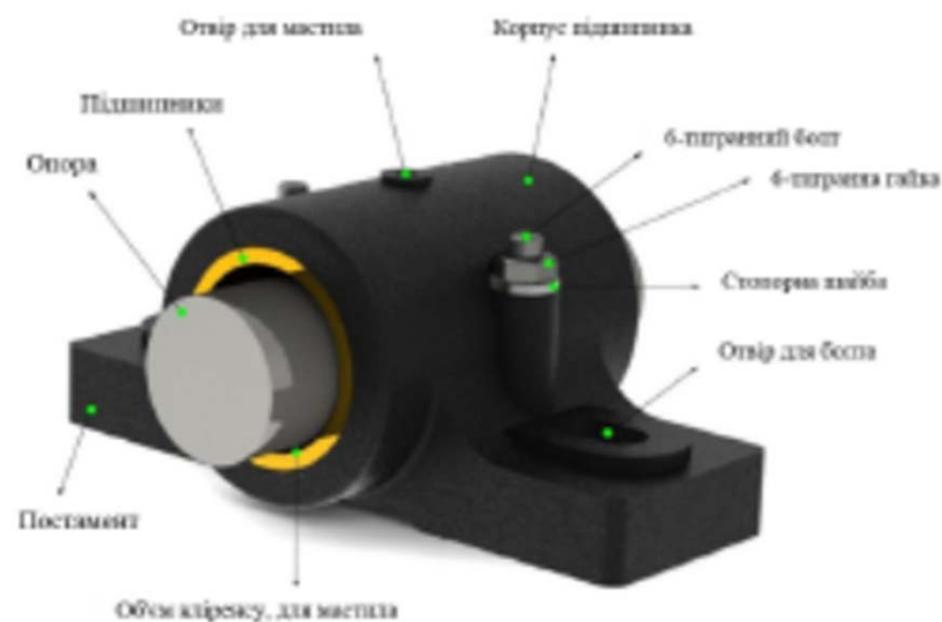
На рисунку 1.1. показано узагальнені картинки, а саме: *рис. 1.1. (а)* види пар тертя; *рис. 1.1. (б)* як каплеподібні рідини розрізняються від значення в'язкості: позиція 1 – не в'язка рідина, 2 – більш в'язка рідина; 3 – в'язка рідина

Навіщо вивчати?

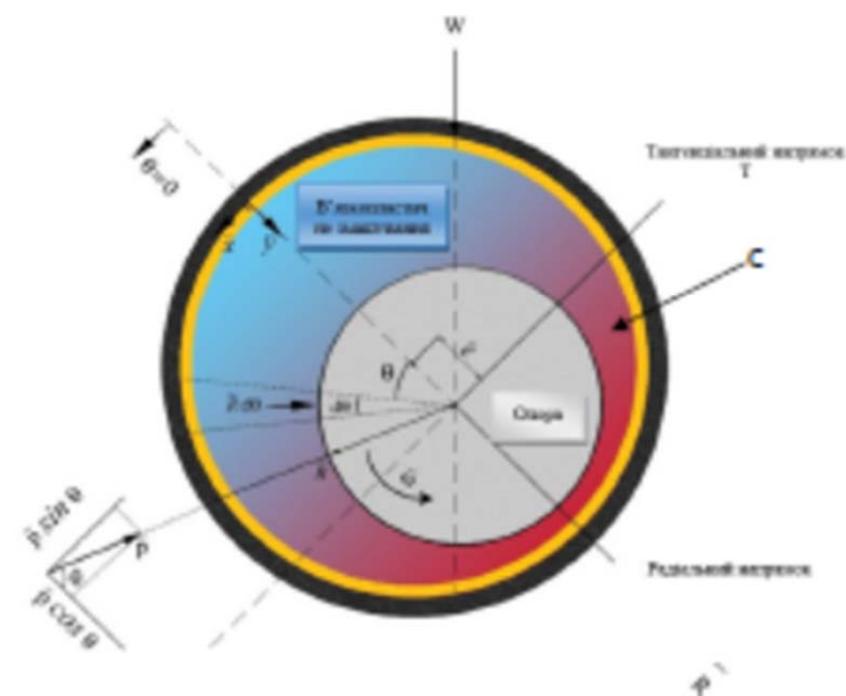
Для кращого розуміння на початку курсу дисципліни в прикладах далі показано, що саме і де застосовують теорію розуміння змащення.

Наприклад, при розгляді змащування в підшипнику і його подальшого аналітичного дослідження нелінійного в'язкопружного змащення в підшипниках

ковзання [2] представленого на *рис.1.2 (а)* практичним рішенням є розрахунок сил тиску, як показано на *рис. 1.2 (б)*.



(а)



(б)

Рис. 1.2. Змащення в підшипниках ковзання: а) загальний вигляд, б) зона змащування та сили що виникають [2]

На *рис. 1.2 (а)* об'єм кліренсу, для мастила, що на *рис.1.2 (б)* відповідає позиції С.

Можна отримати різні залежності при різних початкових даних в результаті моделювання пари тертя, що показано на рис. 1.3, а саме від числа Wi (що порівнює сили пружності із силами в'язкості), α – параметр що враховує модель Гізекуса при факторах рухливості (відношення в'язкості розчинника до в'язкості розчину при нульовій швидкості зсуву), ϵ – відносний ексцентриситет [2].

В даному курсі однією з задач, є навички навчання моделювання процесів, що виникають у зонах рухомих поверхонь (парах тертя зі змащенням) при різних параметрах.

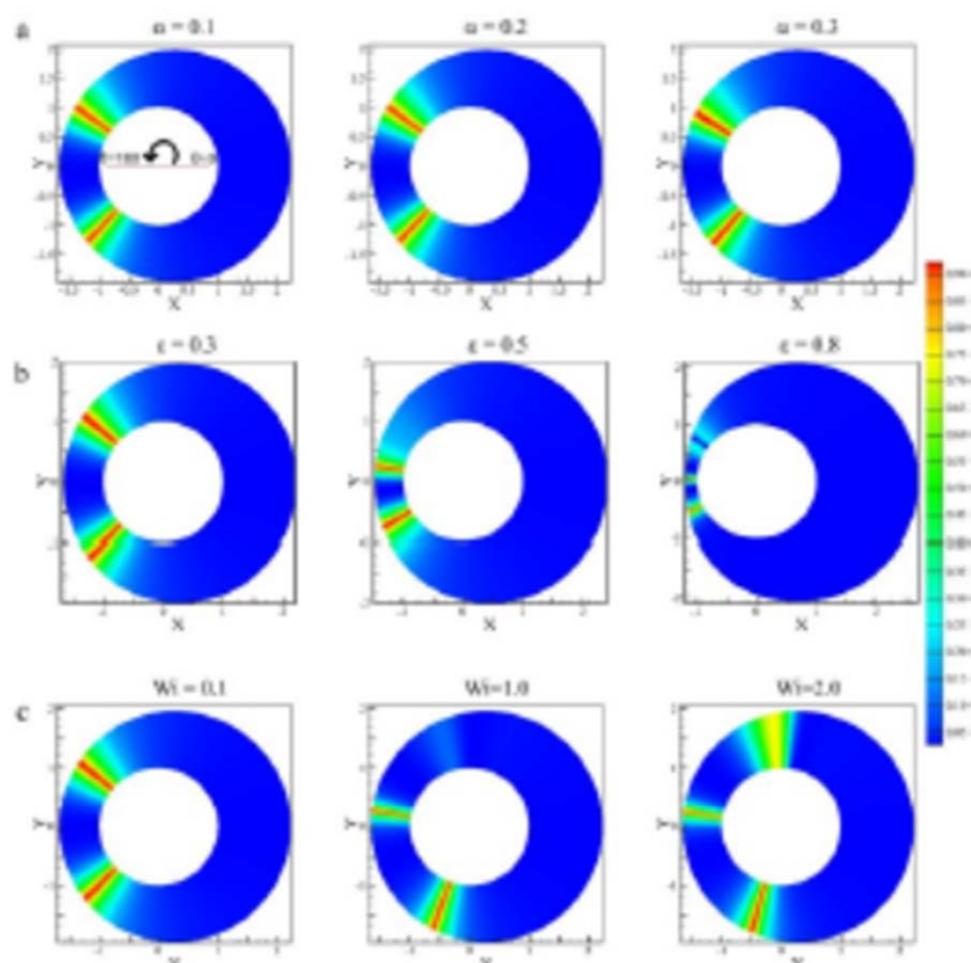


Рис. 1.3. Моделювання процесів в підшипнику при різних параметрах [2]

Що нам це дає?

- Коли число Вайсенберга (Wi – критерій подібності, що характеризує в'язкопружну течію; безрозмірне число Wi , порівнює сили пружності із силами в'язкості), яке дорівнює нулю, це означає, що пружні ефекти незначні, і рідину можна розглядати як простішу, ньютонівську рідину [3]. У результаті, збільшення числа Вайсенберга значно впливає на здатність до навантаження підшипника при використанні в'язкопружної рідини порівняно з рідиною Ньютона.

Іншими словами, для наглядного розуміння в'язкопружна чи ньютонівська рідини – показано на рис.1.4.: на позиції (а) як видно при обертанні ємності, рідина що знаходиться в ній по стержню підіймається вгору, а рідина яка знаходиться в ємності позиції (б) – при обертанні «повзе» по стінках ємності вгору, утворюючи воронку.

- Коли в'язкопружна рідина зазнає деформації або зсуву, полімерний ланцюг у рідині має здатність подовжуватися та зберігати пружну енергію. Ця пружна енергія може допомогти підтримувати та розподіляти навантаження, збільшуючи вантажопідйомність, що не спостерігається у звичайних ньютонівських мастильних матеріалах [3].

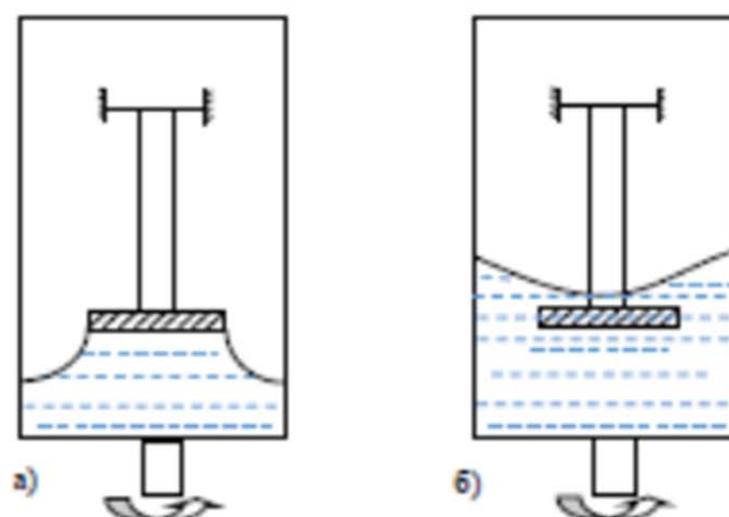


Рис. 1.4. Ефект Вайсєнберга при обертанні в циліндричній посудині:
а) в'язкопружна рідина; б) ньютонівська рідина

- Збільшення коефіцієнта рухливості в моделі Гізекуса, призводить до збільшення напруги зсуву, ніж у ньютонівських мастилах, оскільки це покращує пружну реакцію матеріалу та його здатність протистояти деформації, накопичувати енергію та, як наслідок, створювати напругу зсуву (більш детально можна ознайомитися з моделлю Гізекуса в роботі [3]).

- Більші коефіцієнти ексцентриситету можуть призвести до утворення зон підвищеної напруги зсуву всередині підшипника. Хоча ці зони є життєвоважливими для підтримки навантажень, дуже важливо ефективно контролювати їх, щоб уникнути надмірного зносу та перегріву [3].

- Полімери виявляють стійкий опір будь-якої високій деформації завдяки своїм молекулам з довгим ланцюгом; отже, в'язкість полімеру природно висока. Таким чином, цей предмет можна контролювати особливо там, де потік має вищу в'язку пружність [3].

• Як правило, потік рідини подібний до простого потоку зсуву, за винятком навколо, де маємо чистий екстенсійний потік [3].

Для отримання таких висновків необхідно знати в першу чергу фізичні властивості рідини, поняття «пари тертя», теорію змащування в цілому.

1.1. Фізичні властивості рідин

До основних параметрів які характеризують рідини відносять густину питому вагу, стисливість, температурне розширення, в'язкість, тиск насичених парів.

Густина ρ – це маса рідини в одиниці об'єму V (4)

$$\rho_i = \lim_{\Delta V} \frac{\Delta m_i}{\Delta V_i}, i = 1, 2, \dots, n, \quad (1.1)$$

де Δm_i – маса елементарного об'єму ΔV_i .

Середнє значення: $\rho_{\text{ср}} = \frac{1}{V} \int_V \rho_i dV_i$ та $\rho = \frac{m}{V}$.

Розмірність густини в СІ: $[\rho] = \text{кг/м}^3$.

Для мінеральних мастил густина $\rho=830-940 \text{ кг/м}^3$, для спрощення при температурі 50°C прийняте значення 900 кг/м^3 .

Питома вага γ – це вага рідини G в одиниці об'єму V .

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (1.2)$$

Розмірність питомої ваги в СІ: $[\gamma]=\text{Н/м}^3$; СГС: $[\gamma]=\text{дин/см}^3$; МКГСС: $[\gamma]=\text{кгс/м}^3$.

Так як $G=mg$, то:

$$\gamma = \frac{G}{V} = \frac{mg}{V} = \rho g. \quad (1.3)$$

В'язкість рідини – це здатність її частинок або окремих шарів чинити опір при їх взаємному переміщенні (течії), розподіл профілю швидкостей при течії в'язкої рідини показано на рис.1.5.

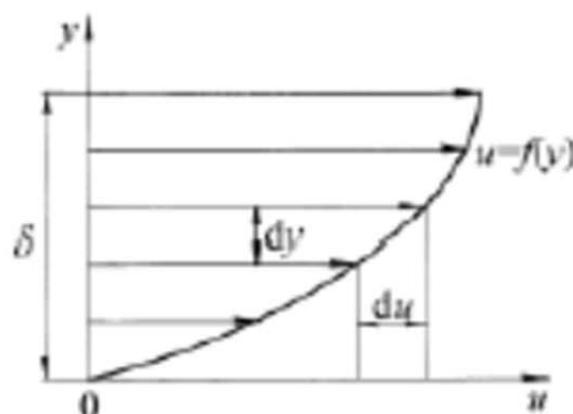


Рис. 1.5. Профіль швидкостей при течії в'язкої рідини вздовж стінки [4]

Через напруження тертя τ – «динамічна в'язкість η » визначається наступним чином (1.4):

$$\tau = \frac{T}{S} = \eta \frac{du}{dy} \quad (1.4)$$

де dy – нескінченно мала віддаль між шарами рідини (при розв'язанні задач в теорії змащування приймається рівною зазоріві між стінками δ);

du – зміна швидкості.

Розмірність коефіцієнта динамічної в'язкості (динамічний коефіцієнт в'язкості) в СІ: $[\eta] = \text{Па} \cdot \text{с}$; СГС: $[\eta] = \text{дин} \cdot (\text{с}/\text{см}^2) = \text{П}(\text{Пауз})$; МКГСС: $[\eta] = \text{кг} \cdot \text{с}/\text{м}^2$.

Кінематичний коефіцієнт в'язкості ν , «кінематична в'язкість»:

$$\nu = \eta / \rho. \quad (1.5)$$

Розмірність коефіцієнта кінематичної в'язкості в СІ: $[\nu] = \text{м}^2/\text{с}$.

Стисливість – це властивість рідини змінювати свій об'єм залежно від тиску. Стисливість характеризується коефіцієнтом об'ємної стисливості β_p [4].

$$\begin{aligned} \beta_p &= \frac{-\Delta V}{V_0 \Delta p}, \\ V(p) &= V_0 (1 - \beta_p \Delta p), \\ \rho(p) &= \frac{\rho_0}{1 - \beta_p \Delta p}. \end{aligned} \quad (1.6)$$

Температурне розширення – зміна об'єму маси даної рідини за рахунок зміни температури.

$$\beta_t = \frac{\Delta V}{V_0 \Delta T} \quad (1.7)$$

$$V(t) = V_0(1 + \beta_t \Delta T),$$

$$\rho(t) = \frac{\rho_0}{1 + \beta_t \Delta T}$$

Тиск насичених парів $p_{н.п.}$ – тиск, який необхідно створити в рідині, щоб мала місце рівновага рідкої і газової фаз при даній температурі. Для води $p_{н.п.} = p_{ст.}$ [4].

1.2. Призначення змащування

➤ Основні способи змащування і мастильні матеріали [5]

Система змащення забезпечує безперервну подачу мастила до всіх деталей механізмів і систем, між якими в процесі роботи виникає тертя. Для змащення устаткування необхідно правильно вибрати вид змащувального матеріалу, що відповідає даним умовам роботи машини (тип обладнання та змащуваних деталей, вид тертя, температурні умови, навантаження і т.д.). Основні способи змащування: *під тиском; розбризкуванням; самопливом*. Змащування необхідне коли є тертя, яке буває *рідинним*, тобто тертя, коли мастильна плівка повністю розділяє деталі. Якщо мастильний шар зруйнується і в окремих місцях тертьові поверхні дотикаються одна до одної, то таке тертя називають *напіврідинним*. За певних умов мастило може бути повністю витиснене з зазору, і на поверхні деталей залишається лише дуже тонка плівка. Таке тертя називають *граничним*. *Сухе* тертя – це коли робочі поверхні деталей абсолютно сухі і дотикаються одна до одної.

Змащувальні матеріали – матеріали, які підводять/наносять до/на поверхні тертя для зменшення сили тертя та/чи зношування, що у свою чергу забезпечує збільшення навантажувальної спроможності механізмів.

Мастильні матеріали класифікують за агрегатним станом, видом вихідної сировини, способом здобуття та за цільовим призначенням. За агрегатним станом мастильні матеріали розрізняють *рідкі* (мастила), *пластичні* (змащення), *тверді* та *газоподібні*, а за видом вихідної сировини – *нафтові* (мінеральні), *тваринні*, *рослинні* й *синтетичні*. Нафтові мастила поділяють на дистильовані, залишкові й компаундні. Перелік мастил за цільовим призначенням дуже великий. Їх поділяють на моторні, трансмісійні осьові, індустріальні, гідравлічні, турбінні, компресорні, електроізоляційні і технологічні для приладів.

Практична робота № 1

Задачі за темою «Фізичні властивості рідин»

Користуватися формулами 1.1-1.7 для розв'язку задач.

Приклад 1. Нафта, питома вага якої $\gamma=9000 \text{ Н/м}^3$, має за температури $t=50 \text{ }^\circ\text{C}$ динамічну в'язкість $\eta=5,884 \cdot 10^{-3} \text{ кг/(м}\cdot\text{с)}$. Визначити її кінематичну в'язкість.

Розв'язок:

$$\nu = \frac{\eta}{\gamma} \quad (1.17)$$

$$\nu = \frac{\eta}{\gamma} = \frac{5,884 \cdot 10^{-3}}{9000} = 6,4 \cdot 10^{-6} \text{ (м}^2\text{/с)}$$

Приклад 2. В об'єм $V=50 \text{ л}$ закачано $50,5 \text{ л}$ ефіру. Визначити, нехтуючи деформацією стінок, підвищення тиску в ньому Δp , якщо коефіцієнт об'ємної стисливості ефіру за $t=20 \text{ }^\circ\text{C}$ має значення $\beta_p=1,95 \cdot 10^{-9} \text{ Па}^{-1}$.

Розв'язок:

$$\Delta p = -\frac{\Delta V}{\beta_p V_0} \quad (1.18)$$

де $\Delta V=(V-V_0)$.

$$\text{Тоді: } \Delta p = -\frac{(50-50,5) \cdot 10^{-3}}{1,95 \cdot 10^{-9} \cdot 50,5 \cdot 10^{-3}} = 50,8 \cdot 10^{-5} \text{ Па}$$

Приклад 3. В резервуарі діаметром $d=4 \text{ м}$ зберігається 100 т нафти, густина якої $\rho=850 \text{ кг/м}^3$ за $t=0 \text{ }^\circ\text{C}$. Визначити коливання рівня в резервуарі при зміні температури нафти від 0 до $30 \text{ }^\circ\text{C}$. Розширення резервуара не враховувати. Коефіцієнт $\beta_t=0,00072 \text{ К}^{-1}$.

Розв'язок: $V = \frac{m}{\rho} = \frac{100 \cdot 10^3}{850} = 117,8 \text{ м}^3$.

Зміна об'єму при зміні температури $30 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$\Delta V = \beta_t \cdot V \cdot \Delta T = 0,00072 \cdot 117,8 \cdot 30 = 2,54 \text{ м}^3$$

Розмах коливань рівня нафти в циліндричному резервуарі з площею днища $S=\pi d^2/4$:

$$h = \frac{4 \cdot \Delta V}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 2,54}{3,14 \cdot 4^2} = 0,202 \text{ м}$$