

РОЗДІЛ 2. ВЛАСТИВОСТІ РОБОЧИХ РІДИН

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Робочим середовищем в гідросистемах є в основному різні сорти мінеральних рідин, що являють собою дистильовані масла, загущені твердими вуглеводнями (парафіном, церезином та іншими), та інші рідини на основі органічних та кремнійорганічних сполук. Особливо широко застосовуються суміші мінеральних масел, що складаються з малов'язких продуктів з високов'язкими компонентами (загусниками). Серед мінеральних масел найчастіше використовуються індустриальні (IC-12; IC-20; IC-30; IC-45; IC-50; ІГП-18; ІГП-30; ІГП-38; ІГП-49 та інших), турбінні (Т22; Т30; Т46; Т57) и циліндрові (11; 24; 38; 52) масла. Поряд з маслами застосовуються і водомасляні емульсії двох видів: «олія у воді» та «вода в олії».

Основними показниками для оцінки якості робочої рідини є в'язкісно-температурні та антикорозійні властивості, мастильна здатність, неагресивність до ущільнювальних деталей.

2. ЩІЛЬНІСТЬ І ПИТОМА ВАГА

Щільність - фізична величина, що представляє відношення маси m рідини до її об'єму, тобто

$$\rho = m / V, \quad \text{кг/м}^3 \quad (1.5)$$

Питома вага може бути виражена через щільність та прискорення вільного падіння g :

$$\gamma = \rho g, \quad \text{Н/м}^3 \quad (1.6)$$

Щільність мінеральних масел становить **830...940 кг/м³**. Для практичних розрахунків беруть **900 кг/м³**. Для точних розрахунків враховують той фактор, що щільність рідини, як і інші її властивості, певною мірою залежить від температури та тиску (*таблиця 1.1*).

3. В'ЯЗКІСТЬ

В'язкість робочого середовища є властивістю чинити опір ковзанню шарів (тобто чинити опір зсуву частинок) і враховується при розрахунках режимів перебігу рідин. Розрізняють динамічну та кінематичну в'язкості. Фізична сутність в'язкості полягає в тому, що при перебігу рідини вздовж твердої стінки швидкість її шарів у результаті гальмування потоку різна, внаслідок чого між шарами виникає сила тертя. Вона визначається з рівняння, що виражає закон рідинного тертя Ньютона.

$$F = \mu S \frac{dv}{dy}; \quad \mu = \frac{F}{S} \frac{1}{\frac{dv}{dy}}, \quad (1.7)$$

де **F** - сила рідинного тертя, **H**;

S - площа поверхні опору шарів, **м²**;

dv/dy - поперечний градієнт швидкості, **с⁻¹**;

μ - коефіцієнт пропорційності (динамічна в'язкість), **Н·с/м² (Па·с)**.

Кінематичну в'язкість визначають шляхом розподілу динамічної в'язкості на густину, тобто.

$$\nu = \mu / \rho, \quad \text{м}^2/\text{с} \quad (1.8)$$

В'язкість, як і щільність, залежить від температури та тиску. В'язкість із підвищенням температури зменшується. Для рідин, що застосовуються в машинах та гідросистемах, кінематична в'язкість в залежності від температури може бути визначена за формулою

Таблиця 1.1. Деякі показники мастил

Тип масла	Кінематична в'язкість при 50°C, мм ² /с	Температура, °C			Щільність, кг/м ³
		застигання	спалаху	робоча	
Індустріальне 12 (веретенне 2)	10 - 14	-30	165	-10...+40	876-891
Індустріальне 20 (веретенне 3)	17 - 23	-20	170	0...+90	881-901
Індустріальне 30 (машинне Л)	27 - 33	-15	180	10...+50	886-916
Індустріальне 45 (машинне С)	38 - 52	-10	190	10...+60	890-930
Індустріальне 50 (машинне СУ)	42 - 58	-20	200	10...+70	890-930
ІПП-18	16,5 - 20,5	-	-	-	-
ІПП-30, ІПП-38	28 - 31	-	-	-	-
ІПП-49 (при 40°C)	100 ±10%	-	-	-	-
Турбінне 22 (турбінне Л)	20 - 23	-15	180	5...+50	901
Турбінне 30 (турбінне УТ)	28 - 32	-10	180	10...+50	901
Турбінне 46 (турбінне Т)	44 - 48	-10	195	10...+50	920
Турбінне 57	55 - 59	-	195	10...+70	930
Веретенне АУ	12 - 14	-45	163	-40...+60	888-896
Трансформаторне	9,6	-45	135	-30...+90	886
МК-8	8,3	-55	135	-	885
АМГ-10	10	-70	92	-50...+60	-
ІПВ	12 - 14	-50	-	-	1151-1154 (при 20°C)
Промгідрол					
П-20	17 - 22	-10	-	-	1145-1155 (при 20°C)
П-20 М-1	18 - 24	-30	-	-	1125-1140 (при 20°C)
П-20 М-2	21 - 27	-45	-	-	1145-1155 (при 20°C)
П-20 М-3	40	-	-	-	-

$$v_t = v_{50} \left(\frac{50}{t} \right)^n, \quad (1.9)$$

де v_t - кінематична в'язкість при $t^\circ\text{C}$;
 v_{50} - кінематична в'язкість при $t = 50^\circ\text{C}$;
 t - температура, за якої необхідно визначити в'язкість;
 n - показник ступеня, що змінюється в межах **від 1,3 до 3,5** і більше, залежно від значення v_{50} .

$$n = \lg v_{50} + 2,7$$

До 1980 року розмірністю динамічної в'язкості служив **Пуаз (П)** і кілограм – сила – секунда на квадратний метр ($\text{кгс}\cdot\text{с}/\text{м}^2$), а розмірністю кінематичної в'язкості **Стокс (Ст)** та **Сантістокс (сСт)**.

Співвідношення між одиницями в'язкості

1 пуаз (П) = 0,1 Па·с = 0,1 Н·с/м²;

1 стокс (Ст) = 10⁻⁴ м²/с;

1сСт = 10⁻⁶ м²/с = 1 мм²/с.

4. СТИСНІСТЬ

Усі рідини, крім ідеальної, змінюють свій об'єм при зміні тиску. Характеристикою відносної зміни обсягу є коефіцієнт стисливості β (коефіцієнт відносного об'ємного стиснення), який за умови, що стиснення робочого середовища підпорядковується закону Гука, може бути визначено за формулою:

$$\beta = \frac{1}{\Delta p} \frac{\Delta V}{V_0}, \quad (1.10)$$

де $\Delta p = p_2 - p_1$ - зміна тиску, що діє на робоче середовище, **МПа**;
 p_2, p_1 - кінцевий та початковий тиск, **МПа**;
 $\Delta V = V_0 - V$ - зміна обсягу робочого середовища за зміни тиску на величину Δp , **м³**.

V_0, V - початковий обсяг робочого середовища при атмосферному тиску та обсяг при зміні на величину Δp , **м³**.

Величина, зворотна β , називається об'ємним модулем пружності робочого середовища при всебічному стисканні:

$$E = V_0 \frac{\Delta p}{\Delta V} = \frac{1}{\beta}, \text{ МПа} \quad (1.11)$$

Модуль змінюється залежно від типу рідини, тиску та температури. При **20°C** та атмосферному тиску модуль пружності мінеральних масел становить **1350...1750 МПа** (для розрахунків приймається **E = 1500 МПа**), води – **2000 МПа**, силіконової рідини – **1050 МПа**. Найбільш високим модулем пружності з рідин органічного походження має гліцерин: **E = 4000 МПа**.

Стискання рідини враховується при розгляді гідравлічних ударів, коливальних процесів, стійкості та точності руху, часу запізнення на початку руху робочого органу. Зокрема, час запізнення в русі поршня гідроциліндра можна визначити за формулою

$$t = \frac{V_0(p_2 - p_1)}{EQ}, \text{ с} \quad (1.12)$$

де Q - кількість робочої рідини, що надходить у порожнину гідроциліндра (подача), $\text{м}^3/\text{с}$.

В окремих випадках стисливість не враховують (коли час запізнення не відіграє ролі або при великих швидкостях переміщення робочого органу).

Насичення рідини нерозчинними газами (часто буває на практиці) суттєво знижує об'ємний модуль рідини, внаслідок чого підвищується податливість вихідної ланки гідродвигуна під дією зовнішнього навантаження. У цьому випадку модуль рідинно-газової суміші при тиску p дорівнюватиме:

$$E_c = E_j \frac{p}{V_v p + V_j E_j}, \quad (1.13)$$

де $V_v = V_{0v}/(V_{0v}+V_{0j})$ - відносний об'єм повітря;

V_{0v} - початковий об'єм повітря;

V_{0j} - початковий об'єм рідини;

E_j - модуль пружності рідини;

$V_j = V_{0j}/(V_{0j}+V_{0v})$ - відносний початковий об'єм рідини.

Водночас врахувати обсяг газу в рідині практично неможливо. Тому доцільно не допускати його проникнення у гідросистему. Для цього необхідно витримувати такі умови:

- перед заправкою гідросистеми слід видаляти гази з рідини шляхом відстою;
- у гідроциліндрах, трубопроводах та елементах гідросистеми необхідно передбачати пробки для випуску газу;
- слід зберігати необхідний рівень рідини в баку, щоб унеможливити підсмоктування повітря;
- не допускати контакту рідини з газом, що перебуває під надлишковим тиском;
- бак гідросистеми має бути розділений перегородкою на камери всмоктування та нагнітання;
- виключення підсмоктування повітря у місці з'єднання насоса та всмоктувальної труби.

Величину сумарного модуля, що враховує пружність стінок гідроциліндра (трубопроводу) та рідини, що знаходиться в ньому, визначають за формулою:

$$E_c = 1 / [1 / E_{ж} + d_0 / (E_m \delta)], \quad (1.14)$$

где E_m - модуль пружності матеріалу циліндра (трубопроводу);
 d_0 - внутрішній діаметр циліндра (трубопроводу);
 δ - товщина стінки циліндра (трубопроводу).

На закінчення слід зазначити, що через високе значення об'ємного модуля пружності рідин у технічних розрахунках звичайних гідравлічних приводів стисливістю можна знехтувати, вважаючи рідину нестискаємою. Однак у деяких випадках стисливість рідини служить базою, де заснована робота низки пристроїв. Зокрема, ця властивість рідини використовується для створення рідинних пружин та амортизаторів, тиск яких досягає **300 - 500 МПа**.

5. ТЕПЛОЄМНІСТЬ І ТЕПЛОПРОВІДНІСТЬ

Теплоємність характеризує кількість тепла, необхідного для нагрівання **1 кг** робочого середовища на **1°C**.

Теплоємність мінеральних масел у діапазоні температур **від 0 до 100°C** становить приблизно **1,99 кДж/(кг·К)**, а води – **4,2 кДж/(кг·К)**.

Теплопровідність характеризує здатність робочого середовища проводити тепло. Вода при **50°C** має теплопровідність **$6,5 \cdot 10^{-4}$ кВт/м·К**, мінеральне масло при температурі **15...20°C** - **$1,3 \cdot 10^{-4}$ кВт/м·К**.

Ці величини використовуються при теплових розрахунках охолодження чи обігріву рідин у баках чи інших ємностях.

6. КАВІТАЦІЯ

Під кавітацією розуміється місцеве виділення з рідини в зонах зниженого тиску парів рідини та газів (закипання рідини) з подальшим руйнуванням парових та газових бульбашок при попаданні в зону підвищеного тиску. Руйнування бульбашок супроводжується місцевими гідравлічними мікроударами частотою повторюваності. У свою чергу кавітація призводить до місцевих руйнувань деталей гідромашин та гідроапаратури. Найчастіше руйнуються деталі насосів, золотників та клапанів. Руйнування виражаються пухкістю поверхні деталі.

Основним способом боротьби з кавітацією є максимальне зниження розрідження у зонах можливої кавітації (за рахунок підвищення навколишнього тиску). Другим важливим способом є застосування металів із підвищеними механічними та хімічними властивостями. Найстійкішим серед відомих матеріалів є титан.

Незважаючи на перераховані вище негативні властивості, кавітаційний ефект використовується в практичних цілях для стабілізації витрати рідини при проходженні її через вузькі канали (наприклад, в підсилювачах типу сопло-заслонка), очищення деталей від окалини та інших забруднювачів.

7. РЕКОМЕНДАЦІЇ З ВИБОРУ РОБОЧИХ РІДИН

При підборі робочих рідин необхідно враховувати такі обставини:

1. У гідросистемах машин, призначених для роботи при стабільних температурних умовах і при тисках менше **10 МПа**, приймаються масла з в'язкістю **20 - 40 мм²/с (при 50°С)**, при тисках до **20 МПа** - з в'язкістю **40-60 мм²/с**, при тиску **50–60 МПа** (гідропреси) – з в'язкістю до **110 – 150 мм²/с**.

2. Мінеральні рідини придатні до роботи за нормальної температури не вище **150°С**.

3. При температурі **150°С** і вище без спеціальних пристроїв, що охолоджують, застосовуються синтетичні рідини (полісилоксанові, кремнійорганічні та ін.). У закритих системах без доступу повітря їх можна використовувати при температурі до **360-380°С**.

4. Температура застигання рідини повинна бути на **15-20°С** нижче за мінімальну робочу температуру гідросистеми. Синтетичні рідини допускають роботу гідросистеми при температурах до **-60°С**, а деякі мінеральні, найкращі в цьому відношенні (приладове **МВП та АМГ-10**) можуть використовуватися при температурах не нижче **-50°С**.

5. Не рекомендується застосування суміші масел у гідросистемах із високим тиском.

6. Синтетичні рідини розчиняють практично всі пластифікатори синтетичних каучуків. Тому ущільнення, виготовлені із синтетичних каучуків, у цьому випадку застосовувати недоцільно, оскільки вони матимуть дуже низький термін служби через втрату еластичності.

7. У гідроприводах, що працюють в умовах підвищеної пожежної небезпеки, слід застосовувати негорючі робочі рідини - емульсії (водні, водногліколеві та синтетичні). Емульсія типу «масло у воді» (основа – вода, олива – добавка) має низьку вартість, проте не задовольняє всім вимогам, що пред'являються до робочих рідин (недостатня змащувальна здатність, висока корозійна активність, нестабільність фізико-хімічних властивостей у процесі експлуатації). Задовільними антикорозійними та мастильними властивостями мають емульсії типу «вода в маслі» (основою є олива, а вода - добавкою), проте вони можуть застосовуватися при тисках не вище **7-14 МПа**.

Водногліколеві робочі рідини містять **30-69 %** води, гліколь - розчинний у воді загусник для отримання необхідних в'язкісних властивостей та різні присадки. До них відносяться рідини ПГВ та «Промгідрол». Вони сумісні майже з будь-якими матеріалами: вуглецевими та легованими сталями, чавунами, нікелем, міддю, алюмінієм, титаном та їх сплавами, пластмасами (поліетиленом, фторопластом, текстолітом, склопластом, паронітом, поліамідом, капроном та ін.), резинами (**В-14, ІРП-1118, ІРП-1175** та ін.).

Рідина «Промгідрол» може застосовуватися для всієї серійно випускаємої гідроапаратури за винятком дросельних золотників, що

стежать. У той же час змащувальні властивості цієї рідини набагато гірші, ніж масел. Тому ресурс роботи насосів може знижуватись на **30-40 %** залежно від тиску. Крім того, частота обертання насоса повинна бути не більше **1000 об/хв**, а встановлена потужність насоса – підвищена на **15–25 %**.