

УДК 621.22

П.М. Андренко, д-р техн. наук,

О.Б. Панамарьова

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОЇ РІДИНИ В ПРОЦЕСІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ОБ'ЄМНОГО ГІДРОАГРЕГАТА

Рассмотрены вопросы изменения объема не растворенного воздуха, модуля объемной упругости и плотности рабочей жидкости на разных участках гидроагрегата подъемного механизма стрелового крана в переходном и установившемся режимах. С помощью интегральной оценки установлено их отклонение от средних значений.

The questions of change of amount of uncut-in air are considered, module of by volume resiliency and closeness of working liquid on the different areas of hydraulic power unit of lifting mechanism of free-standing faucet in transitional and set modes. By means of integral estimation their deviation is set from mean values.

Вступ

Робоча рідина (РР) виконує в об'ємних гідроагрегатах (ГА) важливі та багатобічні функції, головна з яких — передача енергії, а також функції змащування та охолодження, захист деталей від корозії, евакуація продуктів спрацювання. Комплекс вимог, які пред'являються до РР, описаний у багатьох роботах. Зазвичай у гідроагрегатах в якості РР використовують мінеральні масла, зокрема типу ІГП, характеристики якого наведено в [1].

Зазначимо, що точність моделювання робочих процесів у гідроагрегатах залежить від вірного визначення параметрів РР. При дослідженні використовують диференціальні рівняння, до складу параметрів яких входять: густина, в'язкість, модуль об'ємної пружності РР. Більшість дослідників при розрахунку та моделюванні робочих процесів у гідроагрегатах приймають значення цих параметрів постійними і такими, що дорівнюють їх середньому значенню.

У процесі функціонування гідроагрегата внаслідок дроселювання РР змінюється її температура. З підвищенням температури зменшується в'язкість РР, що призводить до збільшення витоків та погіршення змащувальних властивостей. При збільшенні в'язкості РР у гідроагрегатах зростають втрати тиску. Все це призводить до зменшення ККД гідроагрегата, тому для забезпечення стабільності характеристик ГА важливим є забезпечення відповідного температурного режиму РР. Зазвичай температура РР у гідроагрегатах з водяним охолодженням знаходиться у межах від 50 до 60 °С, а з повітряним — від 70 до 80 °С [2]. У більшості робіт, присвячених розрахунку та проектуванню гідроагрегатів, приймають температуру РР 55 °С і всі розрахунки проводять за цієї температури. Також вважають, що РР добре очищена, а тверді частки, що присутні в ній, не впливають на роботу гідроагрегата.

РР містить розчинене та нерозчинене повітря, причому останнє суттєвим чином впливає на її властивості. Під час експлуатації гідроагрегатів відбувається підсмоктування повітря, що призводить до збільшення газовмісту в РР (вмісту розчиненого та нерозчиненого повітря). Най-

інтенсивніше підсмоктування повітря відбувається на лінії всмоктування внаслідок недостатнього занурення всмоктувального патрубка насоса або значного зниження рівня РР у баку. А також через зливний трубопровід при малому рівні РР у баку та ущільнення рухомих і нерухомих елементів гідроагрегата [3]. Середнє значення газовмісту РР у гідроагрегаті складає (0,1 — 5,0)% [3], тому при розрахунках параметрів РР його приймають у межах наведеного діапазону. Підсмоктування повітря та зміна тиску в процесі функціонування гідроагрегата призводить до збільшення газовмісту в РР і зміни співвідношення між розчиненою та нерозчиненою фазами повітря, що суттєво впливає на її параметри.

Аналіз літературних джерел

Модуль об'ємної пружності РР з урахуванням газовмісту та рівня тиску в гідроагрегаті розраховують за залежністю [2]

$$E_{\text{см}} = \frac{1 + \frac{\bar{V}_{\text{го}}}{1 - \bar{V}_{\text{го}}} k \sqrt{\frac{p_0 + 1}{p + 1}} \sqrt{\frac{Ap + B}{Ap_0 + B}}}{1 + \frac{\bar{V}_{\text{го}}}{1 - \bar{V}_{\text{го}}} \frac{Ap + B}{k(p + 1)} \sqrt{\frac{p_0 + 1}{p + 1}} \sqrt{\frac{Ap + B}{Ap_0 + B}}} E_p, \quad (1)$$

де $\bar{V}_{\text{го}} = V_{\text{го}}/V_p$, а V_p та $V_{\text{го}}$ — відповідно початковий об'єм РР та об'єм газової фази РР при початковому тиску p_0 ; p — тиску гідроагрегата; k — показник політропи; A і B — емпіричні коефіцієнти [2]; E_p — ізотермічний модуль об'ємної пружності РР.

Залежність (1) практично аналогічна формулі, наведеній у роботах [4], яка відрізняється від неї формою запису та також містить свої емпіричні коефіцієнти. Розрахунок модуля об'ємної пружності РР з використанням цих залежностей дозволяє з високою точністю визначити його значення для обмеженої кількості типів РР, для яких зна-

чення емпіричних коефіцієнтів визначені. Подальший розвиток промисловості призвів до створення та використання в сучасних гідроагрегатів нових типів РР, для яких значення емпіричних коефіцієнтів, що входять до формули (1), невизначено. Тому для розрахунку модуля об'ємної пружності РР з урахуванням газовмісту та рівня тиску в гідроагрегаті пропонується використовувати наближену залежність [5]

$$E_{cm} = E_p \frac{p^2 \left(V_p^* + V_r^* \frac{p_0}{p} \right)}{V_p^* \cdot p^2 + V_r^* E_p p_0}, \quad (2)$$

де V_p^* — відношення об'єму РР V_p до сумарного об'єму V_Σ , $V_\Sigma = V_p + V_r$; V_r^* — об'єм нерозчиненого повітря, приведений до нормальних умов, $V_r^* = V_r / V_\Sigma$.

Однак залежність (2), як і залежність (1), не враховують зміну нерозчиненого повітря та тиску в процесі функціонування гідроагрегата.

У статті [6] отримано залежність для розрахунку середньої густини РР з урахуванням газовмісту та зміни тиску в гідроагрегаті

$$\rho(t) = \rho_{pp0} (1 - z) \cdot \left[1 + \frac{p(t) - p_0}{E_{cm}} \right] + \rho_{r0} z \frac{p(t)}{p_0}, \quad (3)$$

де ρ_{pp0} і ρ_{r0} — відповідно, густина РР і газу при тиску p_0 ; z — доля об'єму рідинно-газової суміші (середовища), зайнятої газом,

$$z = \frac{V_r}{V_p + V_r}.$$

Однак залежність (3) містить постійне значення модуля об'ємної пружності РР та не враховує зміни об'єму нерозчиненого повітря, під час функціонування гідроагрегата. Це знижує точність її визначення.

Проведений нами аналіз відомих літературних джерел дозволив встановити, що на сьогодні відсутні залежності для визначення модуля об'ємної пружності та густини РР при змінному в часі тиску та об'єму нерозчиненого повітря. Не оцінено діапазон їх зміни в процесі функціонування гідроагрегата, не встановлено вплив на робочі процеси у ньому.

Мета і постановка задачі

Метою статті є отримання аналітичних залежностей для визначення модуля об'ємної пружності та густини РР при змінному в часі тиску та об'єму нерозчиненого повітря. Встановлення діапазону їх зміни та вплив на робочі процеси у гідроагрегатах.

Аналітичні залежності

Як зазначено вище, у процесі функціонування гідроагрегата на окремих його ділянках відбувається зміна тис-

ку, внаслідок чого змінюється співвідношення між розчиненим та нерозчиненим повітрям, що міститься у РР. Зміну об'єму розчиненого повітря у РР, приймаючи постійним значення об'єму рідинної фази, отримали з залежності з роботи [3], яку записували у наступному вигляді:

$$V_{r0}(t) = \alpha \cdot V_p \cdot \frac{p(t)}{p_0}, \quad (4)$$

де α — коефіцієнт розчинності повітря у РР; V_p — об'єм РР; $p(t)$ — тиск у гідроагрегаті; p_0 — абсолютне значення атмосферного тиску.

З урахуванням залежності (4) об'єм нерозчиненого повітря у РР визначали за залежністю

$$V_r^*(t) = V_{r\Sigma} - V_{r0}(t), \quad (5)$$

де $V_{r\Sigma}$ — сумарний об'єм розчиненого та нерозчиненого повітря у РР.

З урахуванням залежності (5) та змінного у часі тиску в гідроагрегаті залежність (2) для розрахунку модуля об'ємної пружності РР, записували у вигляді:

$$E_{cm}(t) = E_p \frac{p(t)^2 \left[V_p^* + V_r^*(t) \frac{p_0}{p(t)} \right]}{V_p^* p(t)^2 + V_r^*(t) E_p p_0} \quad (6)$$

Зауважимо, що у формули (5) і (6) підставляли абсолютне значення тиску.

З урахуванням залежностей (5) і (6), формулу (3) записували у вигляді:

$$\rho(t) = \rho_{pp0} [1 - z(t)] \cdot \left[1 + \frac{p(t) - p_0}{E_{cm}(t)} \right] + \rho_{r0} z(t) \frac{p(t)}{p_0}, \quad (7)$$

де $z(t)$ — доля об'єму рідинно-газової суміші (середовища), зайнятої газом

$$z(t) = \frac{V_r^*(t)}{V_p + V_r^*(t)}.$$

Залежності (6) і (7) дозволяють більш докладно провести розрахунки модуля об'ємної пружності та густини РР при моделюванні робочих процесів у гідроагрегатах.

Розрахункові дослідження

Розглянуто гідроагрегат підйомного механізму стрілового крану (рис. 1), гідравлічну схему якого у залежності від перепаду тиску умовно розділено на ділянки між окремими гідроапаратами I–VIII. Використовували його математичну модель, яку наведено у статті [7]. Розрахункові дослідження робочих процесів у гідроагрегаті підйомного механізму стрілового крану проводили у пакеті Mathcad за розробленою програмою. Приймали, що РР однорідна,

$\rho_{pp0} = 900 \text{ кг/м}^3$; $\nu_t = 2,8 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$; температура 55°C ; вміст повітря — 1,4 %, модуль об'ємної пружності $E_p = 1,35 \cdot 10^3 \text{ МПа}$ а її об'єм у гідросистемі складає $V_p = 3000 \text{ см}^3$. Густина повітря $\rho_{r0} = 1,297 \text{ кг/см}^3$. При розрахунку задавали початкові і граничні умови: витрату на виході з об'ємного насоса $1,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$, та знаючи опір гідроагрегата, знаходили $p_1(0) = p_1(T)$, $p_1(0, t) = p_1(t)$, T — період повторення циклу коливаль. Пульсацію витрати на виході з об'ємного насоса моделювали напівсинусоїдами, як найбільш наближеними до вигляду реальних пульсацій. Вона становила 5 % від її усталеного значення, а частота пульсацій $f = 50 \text{ Гц}$. При розрахунках вважалося, що підсмоктування повітря не відбувається. Результати показано на рис. 2–5.

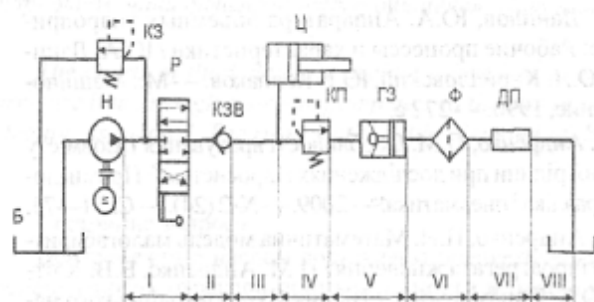


Рис. 1. Гідрравлічна схема ГА підйомного механізму стрілового крану: Б — бак; КЗ — клапан запобіжний; Р — гідророзподільник; КЗВ — клапан зворотний; Ц — гідроциліндр; КП — клапан переливний; ГЗ — гідрозамок; ДП — диспергуючий пристрій; Ф — фільтр.

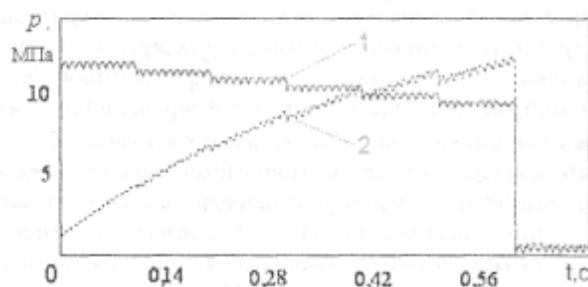


Рис. 2. Зміна тиску на ділянках ГА при різних режимах: 1 — усталений; 2 — перехідний.

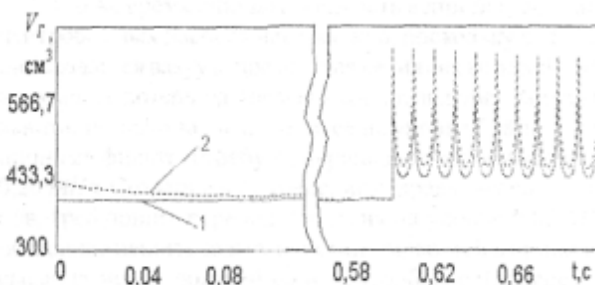


Рис. 3. Розподіл нерозчиненого повітря в РР на ділянках гідросистеми з ГА при різних режимах: 1 — усталений; 2 — перехідний.

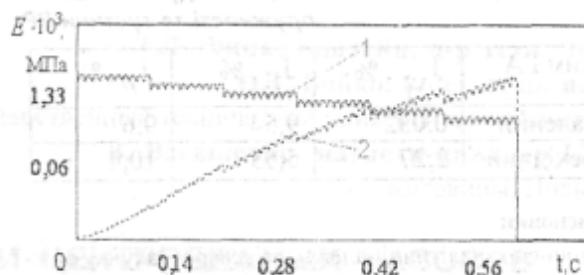


Рис. 4. Змінний у часі модуль об'ємної пружності РР при різних режимах роботи ГА: 1 — усталений; 2 — перехідний.

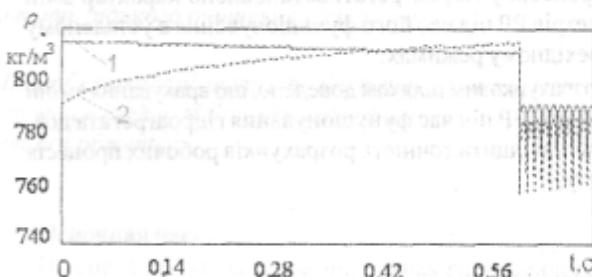


Рис. 5. Змінна у часі густина РР при різних режимах роботи ГА: 1 — усталений; 2 — перехідний.

При зміні тиску на окремих ділянках ГА (рис. 2) відбувається зміна об'єму нерозчиненого повітря у РР (розчинене повітря переходить у нерозчинене) (рис. 3). Причому, найбільше виділення повітря з РР відбувається за диспергуючим пристроєм, де значення тиску менше атмосферного. Це призводить до зміни модуля об'ємної пружності та густини РР на окремих ділянках ГА (рис. 4–5).

Для оцінки близькості значень об'єму нерозчиненого повітря, модуля об'ємної пружності та густини РР використовували відносну інтегральну оцінку

$$J_E = \frac{\int_0^{t_p} |E_{cm}(t) - E_{cm}| dt}{\int_0^{t_p} E_{cm}(t) dt} \cdot 100\%, \quad (8)$$

де, як приклад, $E_{cm}(t)$ і E_{cm} — модулі об'ємної пружності РР, розраховані за формулами (6) і (2); t_p — час перехідного процесу.

Аналогічно до (8) прийнято вирази для інших змінних. Попередні розрахунки перехідних процесів у гідроагрегаті показали, що $t_p \leq 1 \text{ с}$. Для розрахунку відносної інтегральної оцінки приймали $t_p = 0,5 \text{ с}$.

Як видно з табл. 1, незначні зміни вмісту нерозчиненого повітря у РР призводять до значної зміни модуля об'ємної пружності (5,53% при перехідному процесі та 9,54% при усталеному). Відповідно врахування зміни модуля об'ємної пружності та густини РР за залежностями (6), (7) дозволяє підвищити точність розрахунків робочих процесів у гідроагрегаті.

Таблиця 1

Відносна інтегральна оцінка об'єму
нерозчиненого повітря, модуля об'ємної
пружності та густини РР

Режим ГА	$J_{V_f}, \%$	$J_E, \%$	$J_p, \%$
Усталений	0,032	9,54	9,6
Перехідний	2,27	5,53	10,4

Висновки

Уточнено аналітичні залежності для розрахунку об'єму нерозчиненого повітря, модуля об'ємної пружності та густини РР у залежності від змінного у часі тиску в гідроагрегаті.

Вперше шляхом математичного моделювання робочих процесів у гідроагрегаті встановлено характер змін параметрів РР під час його функціонування в усталеному та перехідному режимах.

Розрахунковим шляхом доведено, що врахування зміни параметрів РР під час функціонування гідроагрегата дозволить підвищити точність розрахунків робочих процесів у ньому.

Література

1. Свешников, В.К. Станочные гидроприводы: справочник. — М.: Машиностроение, 1995. — 448 с.
2. Электрогидравлические следящие системы / В.А. Хохлов, В.Н. Прокофьев, Н.А. Борисова и др.; под ред. В.А. Хохлова. — М.: Машиностроение, 1971. — 431 с.
3. Снижение содержания воздуха и воды в рабочих жидкостях гидравлических систем: Обзор / В.А. Рокшевский, В.В. Татьков, Г.Ф. Ливада и др. — М.: НИИмаш, 1981. — С. 58.
4. Прокофьев, В.Н. Определение критерия упругости гидропривода // Транспортное и энергетическое машиностроение. — М.: Машиностроение, 1966. — № 7. — С. 70—74.
5. Данилов, Ю.А. Аппаратура объемных гидроприводов: Рабочие процессы и характеристики / Ю.А. Данилов, Ю.Л. Кирилловский, Ю.Г. Колпаков. — М.: Машиностроение, 1990. — 272 с.
6. Андренко, П.М. Особливості врахування газовмісту робочої рідини при дослідженнях гідросистем // Промислова гідраліка і пневматика. — 2009. — № 2 (24). — С. 71—73.
7. Андренко, П.Н. Математична модель малогабаритного гідроагрегата живлення / П.М. Андренко, В.В. Клітної, О.Б. Панамарьова // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. — 2007. — № 3 (109), ч. 2. — С. 13—17.

Надійшла 16.06.2010 р.



Рис. 2. Значення параметрів РР під час функціонування гідроагрегата в усталеному та перехідному режимах