

ОСНОВНІ ПОКАЗНИКИ ТЕРМОДИНАМІЧНОГО СТАНУ ГІДРОПРИВОДУ

¹ Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто ключові термодинамічні показники стану гідروприводу: температуру робочої рідини, тиск, в'язкість та ентропійні характеристики. Проаналізовано взаємозв'язок між тепловими процесами та енергетичною ефективністю системи. Обґрунтовано необхідність комплексного моніторингу термодинамічних параметрів для забезпечення надійної та енергоефективної експлуатації гідравлічних приводів.

Ключові слова: гідропривод, термодинамічні показники, температура робочої рідини, тиск робочої рідини, в'язкість, ентропія.

Abstract

The key thermodynamic indicators of the hydrostatus are considered: working fluid temperature, pressure, viscosity and entropy characteristics. The relationship between thermal processes and energy efficiency of systems is analyzed. The need for comprehensive monitoring of thermodynamic parameters to ensure reliable and energy-efficient operation of hydraulic drives is substantiated

Keywords: hydraulic drive, thermodynamic indicators, working fluid temperature, working fluid pressure, viscosity, entropy.

Вступ

Гідравлічний привод є невід'ємним елементом сучасних промислових машин, мобільної техніки та технологічного обладнання. Його надійність і ефективність значною мірою визначаються термодинамічним станом робочої рідини та гідравлічної системи загалом. Перетворення механічної енергії в гідравлічну і навпаки супроводжується неминучими втратами, які переходять у теплову енергію. Накопичення теплоти в системі призводить до зміни фізико-хімічних властивостей робочої рідини, підвищення зносу елементів та зниження ККД приводу. Тому дослідження термодинамічних показників робочих рідин є актуальним завданням для інженерної практики та наукових досліджень у галузі гідроприводу та гідропневмоавтоматики.

Основна частина

Температура робочої рідини є найбільш інформативним інтегральним показником термодинамічного стану гідроприводу. Оптимальний температурний діапазон для більшості мінеральних гідравлічних мастил становить 40–60 °С. Перевищення допустимої температури (понад 80–90 °С) призводить до прискореного окиснення рідини, деструкції присадок, зниження мастильних властивостей та підвищеного зносу прецизійних пар тертя. Температурний режим визначається балансом між тепловиділенням унаслідок гідравлічних і механічних втрат та тепловідведенням через стінки трубопроводів, корпуси агрегатів і теплообмінники. Для розрахунку часу зміни температури робочої рідини t (хв) використовується залежність:

$$t = \frac{\sum C_i \cdot G_i}{k_T \cdot F_T} \cdot \ln \left[\frac{k_T \cdot F_T \cdot T_0 - Q_T}{k_T \cdot F_T \cdot T - Q_T} \right] \quad (1)$$

де T_0 – перепад між початковою (постійною) температурою робочої рідини та температурою навколишнього повітря, °C; T – перепад між кінцевою температурою робочої рідини (що визначає межу функціонування гідروприводу) та температурою навколишнього повітря, °C; C_i – питома теплоємність робочої рідини та трубопроводу, кДж/кг°C; G_i – маса робочої рідини та трубопроводу, кг; F_T – площа трубопроводу, м²; k_T – коефіцієнт теплопередачі трубопроводів; Q_T – тепло, що виділяється, кДж [1].

Тиск у гідроприводі є основним робочим параметром, що безпосередньо пов'язаний з термодинамічним станом через рівняння стану рідини. Локальні перепади тиску на дроселях, клапанах та інших гідравлічних опорах є головним джерелом теплогенерації в системі. Дросельні втрати перетворюються на теплоту відповідно до закону збереження енергії, що кількісно описується залежністю:

$$Q = \Delta P \cdot Q_v, [\text{м}^3/\text{с}] \quad (2)$$

де ΔP — перепад тиску, Q_v — витрата рідини.

Динамічна в'язкість робочої рідини є термозалежним параметром, що суттєво впливає на об'ємні та механічні втрати в гідроагрегатах. Зі зростанням температури в'язкість мінеральних оліїв знижується за експоненціальним законом, що погіршує умови гідродинамічного мащення та збільшує витрати через зазори. Індекс в'язкості сучасних гідравлічних рідин характеризує стабільність цього параметра в діапазоні робочих температур [2].

Ентропійні характеристики системи дозволяють оцінити незворотність термодинамічних процесів у гідроприводі. Приріст ентропії відображає сумарні втрати якості енергії та є теоретичною основою для оцінки енергетичної досконалості гідравлічних систем. Метод ексергетичного аналізу, що ґрунтується на концепції максимально корисної роботи, дозволяє локалізувати основні джерела термодинамічних втрат у системі та обґрунтувати технічні рішення щодо підвищення її ефективності.

Теплові потоки та тепловий баланс системи визначають ustalений температурний режим. Математична модель теплового балансу гідроприводу включає складові тепловиділення (від об'ємних, гідравлічних та механічних втрат) та тепловідведення (через природну конвекцію, випромінювання та примусове охолодження). Розрахунок теплового балансу є обов'язковим етапом проектування гідравлічних систем, що працюють у тривалих режимах навантаження [4].

Висновки

Термодинамічний стан гідроприводу визначається комплексом взаємопов'язаних параметрів: температурою, тиском, в'язкістю робочої рідини та характеристиками теплового балансу системи. Ці показники є визначальними для надійності, довговічності та енергетичної ефективності гідравлічного обладнання. Комплексний моніторинг термодинамічних параметрів у поєднанні з математичним моделюванням теплових процесів дозволяє обґрунтовано визначати режими експлуатації, оптимізувати конструктивні параметри системи охолодження та прогнозувати технічний стан гідроприводу. Впровадження ексергетичного підходу відкриває перспективи для системного підвищення енергетичної досконалості гідравлічних приводів сучасних машин і механізмів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Розрахунок каналів гідроприводу з врахуванням змін температури і в'язкості робочої рідини / А. М. Муращенко, О. В. Тижнов, О. П. Губарев, О. М. Яхно // *Mechanics and Advanced Technologies*. – 2018. – №2 (83). – Р. 5-10. <https://dx.doi.org/10.20535/2521-1943.2018.83.118414>.
2. Косолапов В.Б. Результати моделювання впливу температури на товщину адсорбованого на мікронерівності шару поверхнево-активних речовин. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. 2023. Т. 1. № 101. С. 81–85. DOI: <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2023.101.0.81>.
3. Michael P., Dai C., Rodriguez K. Fluid Property Effects on Power Consumption in a Hydraulic System at Low Temperatures. *Proceedings of the BATH/ASME 2020 Symposium on Fluid Power and Motion Control*. BATH/ASME 2020 Symposium on Fluid Power and Motion Control. Virtual, Online. September 9–11, 2020. V001T01A021. ASME. <https://doi.org/10.1115/FPMC2020-2747>.

Коломієць Віктор Сергійович – аспірант кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця;

Мельник Сергій Валерійович – аспірант кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця;

Сербін Ігор Сергійович – аспірант кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця;

Науковий керівник: **Петров Олександр Васильович** — канд. техн. наук, доцент кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет.

Kolomiets Viktor S. – postgraduate student of the Department of Mechanical Engineering Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia;

Melnyk Serhii V. – postgraduate student of the Department of Mechanical Engineering Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia;

Serbin Ihor S. – postgraduate student of the Department of Mechanical Engineering Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Supervisor: **Petrov Oleksandr V.** — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of the Department of Machine-building technology and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.