ШЛЯХИ ОПТИМІЗАЦІЇ ТА НАДІЙНОСТІ РОБОТИ СУДНОВОГО ГІДРОПРИВОДУ

Васильченко Геннадій Юрійович
канд.пед.наук, доцент кафедри транспортних технологій та механічної інженерії
Херсонська державна морська академія, Україна
ORCID ID: 0000-0002-8320-4441

Клевцов Костянтин Миколайович
ORCID ID: 0000-0001-8486-1104
д-р.техн.наук, професор кафедри транспортних технологій та механічної інженерії
Херсонська державна морська академія, Україна

Вступ. Суднові гідроприводи є невід'ємною складовою сучасних суднових енергетичних та допоміжних систем. Вони забезпечують роботу рульових машин, швартовних механізмів, палубних кранів, вантажних люків, стабілізаторів хитавиці та інших механізмів, де необхідне передавання значних зусиль при компактних габаритах обладнання [1].

Ефективність роботи суднового гідроприводу безпосередньо впливає на безпеку експлуатації судна, енерговитрати та економічні показники роботи судноплавної компанії. У процесі експлуатації гідравлічних систем виникають втрати енергії, коливання тиску, перегрів робочої рідини та зниження надійності елементів системи [2]. Це обумовлює необхідність пошуку шляхів оптимізації роботи суднових гідроприводів з метою підвищення їх експлуатаційних показників та надійності.

Метою статті є аналіз сучасних методів підвищення ефективності та надійності роботи суднових гідроприводів, а також визначення основних напрямів їх оптимізації.

Особливості роботи суднових гідроприводів. Судновий гідропривод являє собою систему, у якій енергія робочої рідини використовується для передачі на значну відстань механічної енергії до виконавчих механізмів. Основними елементами гідроприводу є [3]:

- насосна установка;
- гідродвигуни;
- трубопроводи;

- гідророзподільники;
- фільтри;
- запобіжна та регулююча арматура;
- системи автоматичного керування.

Як показує аналіз, робота суднових гідроприводів характеризується такими особливостями:

1. Значними динамічними навантаженнями.
2. Роботою в умовах змінної температури.
3. Впливом вібрацій та хитавиці судна.
4. Необхідністю високої надійності.
5. Тривалою безперервною роботою.

У процесі експлуатації, під впливом всіх цих факторів, виникають втрати тиску та витрати енергії, які знижують загальний коефіцієнт корисної дії системи.

Аналіз основних факторів, що впливають на ефективність гідроприводу

Втрати тиску (**гідравлічні втрати)** в трубопроводах та елементах системи є однією з основних причин зниження ефективності гідроприводу. Вони визначаються за формулою:

$$\Delta p = \lambda \frac{L}{d} \frac{\rho v^2}{2}$$

де: Δp — втрати тиску, Па;
λ — коефіцієнт гідравлічного опору;
L — довжина трубопроводу, м;
d — діаметр трубопроводу, м;
ρ — густина робочої рідини, кг/м³;
v — швидкість потоку рідини, м/с.

Зменшення втрат тиску дозволяє знизити енергоспоживання насосної установки.

Температурний режим. Перегрів робочої рідини призводить до зниження її в'язкості, збільшення внутрішніх витоків та прискореного зношування елементів системи. Низька температура збільшує густину, що приводе до збільшення навантаження на насоси та інші елементи системи. Оптимальна температура робочої рідини у більшості суднових гідросистем становить 40…60 °С [7].

Якість робочої рідини. Забруднення робочої рідини є однією з головних причин відмов гідравлічних систем. Частинки забруднення, які виникають в основному через зношування ущільнень, викликають:

- абразивне зношування;
- заклинювання клапанів;
- пошкодження ущільнень;
- зниження точності роботи системи.

Тому важливим напрямом оптимізації є використання ефективних систем фільтрації.

Шляхи оптимізації роботи суднового гідроприводу

Застосування енергоефективних насосів. Одним із найефективніших способів оптимізації є використання насосів змінної продуктивності. Такі насоси забезпечують подачу робочої рідини відповідно до фактичного навантаження системи [5].

Переваги насосів змінної продуктивності:

- зменшення енергоспоживання;
- зниження нагріву рідини;
- зменшення навантаження на трубопроводи;
- збільшення ресурсу обладнання.

Використання та автоматизація частотного регулювання електродвигунів насосів також дозволяє зменшити витрати електроенергії.

Оптимізація трубопровідної системи. Раціональне проектування трубопроводів дозволяє значно знизити втрати тиску [6]. Для цього необхідно:

- зменшувати довжину трубопроводів;
- уникати різких поворотів;
- застосовувати труби оптимального діаметра;
- мінімізувати кількість місцевих опорів.

Зменшення гідравлічних втрат підвищує загальний ККД системи.

Використання автоматизованих систем керування. Сучасні суднові гідроприводи оснащуються електронними системами керування та моніторингу [8]. Автоматизація дозволяє:

- підтримувати оптимальні режими роботи;
- контролювати тиск та температуру;
- своєчасно виявляти несправності;
- зменшувати ризик аварійних ситуацій.

Використання датчиків тиску, температури та витрати дозволяє реалізувати системи діагностики технічного стану в режимі реального часу.

Застосування сучасних робочих рідин. Використання сучасних синтетичних та біорозкладних гідравлічних рідин забезпечує [7]:

- стабільність в'язкості;
- зменшення зношування;
- підвищення ресурсу насосів;
- покращення екологічної безпеки.

Особливо важливим є застосування екологічно безпечних рідин на суднах, що працюють у природоохоронних зонах.

Підвищення надійності системи. Для підвищення надійності суднового гідроприводу застосовують:

- резервування насосних установок;
- дублювання ліній керування;
- використання систем аварійного захисту;
- контроль параметрів роботи.

Надійність системи можна оцінити за формулою [9]:

$$P(t) = e^{-\lambda t}$$

де:
P(t) — ймовірність безвідмовної роботи;
λ — інтенсивність відмов;
t — час роботи.

Зниження інтенсивності відмов є одним із головних завдань оптимізації.

Енергозбереження у суднових гідросистемах.

Питання енергозбереження є особливо актуальним у сучасному судноплавстві через постійне зростання вартості палива та вимоги міжнародних екологічних стандартів [7].

Основними напрямами енергозбереження є:

- використання насосів з регульованою продуктивністю;
- рекуперація енергії;
- автоматичне регулювання навантаження;
- оптимізація режимів роботи;
- зменшення витоків робочої рідини.

Ефективність гідроприводу визначається загальним коефіцієнтом корисної дії:

$$\eta = \eta_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{г}} \cdot \eta_{\text{т}}$$

де: $\eta_н$ *— ККД насоса;*
$\eta_г$ *— гідравлічний ККД;*
$\eta_т$ *— механічний ККД трансмісії.*

Підвищення кожного з цих показників дозволяє значно зменшити енергоспоживання системи.

Сучасні тенденції розвитку суднових гідроприводів.

Таким чином, серед сучасних тенденцій розвитку суднових гідравлічних систем можна виділити:

1. Інтеграцію цифрових систем керування.
2. Використання інтелектуальних систем діагностики.
3. Впровадження енергоефективних технологій.
4. Перехід до електрогідравлічних систем.
5. Застосування екологічно безпечних робочих рідин.

Сучасні системи моніторингу дозволяють прогнозувати технічний стан обладнання та виконувати технічне обслуговування за фактичним станом.

Висновки. Оптимізація роботи та підвищення надійності суднового гідроприводу є важливим напрямом підвищення ефективності експлуатації суднових технічних систем. Основними шляхами оптимізації є: зменшення гідравлічних втрат; використання енергоефективних насосів; автоматизація керування; підвищення якості робочої рідини; впровадження систем моніторингу; підвищення надійності обладнання.

Комплексне впровадження сучасних методів оптимізації дозволяє знизити енергоспоживання, підвищити надійність суднових систем та зменшити витрати на технічне обслуговування.

Список використаних джерел:

1. Башта Т. М. Гідравліка, гідромашини і гідроприводи : підручник. Київ : Машинобудування, 2018. 424 с.
2. Бойко В. С., Коновалюк Д. М. Гідравліка та гідропривод : навчальний посібник. Київ : Вища школа, 2017. 375 с.
3. Іванченко А. О. Суднові гідравлічні системи : підручник. Одеса : НУ «ОМА», 2020. 310 с.

4. Carlton J. Marine Propellers and Propulsion. Oxford : Butterworth-Heinemann, 2019. 945 p.
5. McGeorge H. Marine Auxiliary Machinery. London : Butterworth-Heinemann, 2018. 897 p.
6. DNV Rules for Classification of Ships. Part 4. Machinery Systems and Piping. Oslo : DNV, 2023.
7. API Hydraulic Systems Standards. American Petroleum Institute, 2022.
8. IMO Guidelines for Machinery Installations. International Maritime Organization, 2021.
9. Соколов В. В. Надійність суднових технічних систем. Херсон : ХДМА, 2021. 286 с.