

РОЗРОБЛЕННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ПІДГРІВУ РОБОЧОЇ РІДИНИ ГІДРОПРИВОДА МОБІЛЬНИХ МАШИН

Пімонов І.Г., Пенкіна Н.П., Ярижко О.В., Мощенок В.І., Салій Ю.Л.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

***Анотація.** Дослідження присвячено актуальній проблемі підвищення експлуатаційної продуктивності мобільних машин, оснащених гідроприводами. Зокрема проаналізовано вплив конструктивних параметрів гідропривода на його надійність та ефективність роботи. Особливу увагу приділено можливостям оптимізації системи терморегулювання робочої рідини. Сучасні тенденції в конструюванні мобільних машин вимагають нових інноваційних інженерних рішень щодо конструкції та розміщення гідробаків, які забезпечать оптимальні умови роботи гідросистеми. Мета дослідження полягає в розробленні розрахункової моделі конструктивних параметрів для підігріву робочої рідини гідропривода, що спрямована на підвищення загальної ефективності роботи гідрофікованих машин, зважаючи на досвід проектування та експлуатації аналогічних систем. Стабілізація температурних параметрів робочої рідини необхідна для взаємодії деталей та елементів, а також ефективного функціонування машини загалом. Під час прогріву робочої рідини в гідроприводі зменшується навантаження на гідроелементи, знижуються гідравлічні витрати, полегшується переміщення робочої рідини по трубопроводах, забезпечується стабільність тиску й чутливість системи. Тому час на прогрів має бути мінімальним.*

***Ключові слова:** мобільні машини, гідропривод, експлуатація, адаптація, конструктивні параметри, температура робочої рідини.*

Вступ

У проектуванні гідравлічних систем, призначених для експлуатації в умовах відкритого повітря, необхідний ретельний аналіз впливу кліматичних факторів на тепловий стан гідропривода. Важливо брати до уваги, що тепловий режим гідравлічної системи є функцією не лише зовнішніх кліматичних умов, але й конструктивних особливостей та режиму роботи як гідропривода, так і машини загалом. Отже, встановлюється кореляція між кліматичними умовами (зовнішнім середовищем), конструкцією та режимом роботи гідропривода, з одного боку, і тепловим станом гідропривода – з іншого.

Тепловий режим гідравлічної системи має прямий вплив на стан гідрообладнання та робочої рідини (РР). Цей вплив позначається на змінах фізико-механічних властивостей робочої рідини, металів та полімерів, на змінах величини зазорів у парах тертя й натягів у роз'ємних з'єднаннях, а також на умовах фільтрації та взаємодії поверхонь деталей. Зміни стану гідрообладнання та РР зі свого боку впливають практично на всі параметри й характеристики гідравлічної системи, що, зрештою, визначає техніко-економічні показники машини загалом [1].

Гідропривод є однією з найбільш дорогих систем будівельно-дорожніх і мобільних

машин. Завдяки своїм перевагам гідравлічний привод останнім часом широко застосовується для передачі, керування та розподілу енергії робочою рідиною. На частку відмов складників гідравлічного приводу припадає від 30 % до 80 % всіх відмов машини. Тому забезпечення надійності роботи гідропривода як ключового компонента мобільної машини має безпосередній вплив на загальну надійність та ефективність її функціонування. Перспективним напрямом є підвищення ефективності роботи машин за допомогою розроблення системи терморегулювання робочої рідини [2, 5]. Унаслідок дослідження планується розроблення системи заходів передпускового підігріву РР, що підвищує ефективність роботи гідрофікованої машини.

Аналіз публікацій

У проектуванні гідроприводів необхідно більше уваги приділяти розмірам, конструкції гідробаків і місцю його розташування в машині. Важливо брати до уваги досвід проектування та експлуатації аналогічних спроектованих гідрофікованих машин. Оптимальною конструкцією є здвоєний гідробак, який має малий і великий баки, а також пристрій автоматичного перемикачання потоку рідини між ними. Місткість малого бака має становити 0,25–0,3 % від місткості великого бака.

Більш точні значення покаже тепловий розрахунок і експлуатаційні випробування дослідних примірників машини. Під час роботи машини в холодну пору року вмикається малий гідробак, рідина інтенсивно розігрівається, що забезпечує швидкий вихід гідропривода на оптимальний тепловий режим. У весняний і осінній періоди машина спочатку експлуатується на малому гідробаку, а мірою розігріву рідини вона з великого бака поступово надходить у малий гідробак, що унеможлиблює перегрів гідропривода [3, 4].

Для машин з теплонапруженим гідроприводом на додаток до зведеного гідробака може бути застосований теплообмінник. Для машин з нетеплонапруженим гідроприводом можна обмежитися малим баком, якщо поєднати з теплообмінником.

Основними напрямками дослідження є:

- створення системи терморегулювання робочої рідини, що забезпечує прискорений її прогрів і необхідну тепловіддачу під час сталої роботи гідропривода;
- конструювання бака з удосконаленою системою терморегуляції;
- розроблення основних складників бака;
- розроблення системи експлуатації та ремонту гідропривода на основі технічної діагностики.

Мета й постановка завдання

Метою є розроблення розрахункової моделі конструктивних параметрів для підігріву робочої рідини гідропривода.

Ефективність самого гідропривода забезпечується якісними конструюванням, виготовленням і експлуатацією. Дослідження спрямоване на розроблення та обґрунтування необхідних елементів обладнання передпускового підігріву РР для стабілізації її температурних параметрів, які мають підтримуватися під час роботи мобільної машини.

Обґрунтування передпускового підігріву робочої рідини гідропривода

За низької температури внаслідок збільшення в'язкості РР ускладнюється її всмоктування насосом із гідробака, збільшується опір всмоктувального трубопроводу, і, зрештою, знижується тиск на вході в насос, що за певних умов може спричинити втрату його працездатності [2, 6].

Наприклад, за температури зовнішнього середовища, нижчої ніж мінус 40 °С, РР загусла у всмоктувальній камері аксіально-поршневого насоса, далі виникає таке розрідження, що може спричинити руйнування

вузла, який качає. Отже, завдання створення простого й надійного пристрою передпускового підігріву гідропривода в умовах експлуатації за низької температури зовнішнього середовища стає актуальним.

Працездатність насоса під час зимового пуску визначається абсолютним тиском у його всмоктувальній камері. Мінімальний тиск на вході в насосах із зовнішнім зачепленням $[p_B] = 0,07$ МПа, а для насосів із внутрішнім зачепленням і аксіально-поршневих $[p_B] = 0,08$ МПа. Відповідно до рівняння Бернуллі абсолютний тиск у всмоктувальному трубопроводі насоса:

$$p_B = p_0 - \rho g (-h_{bc}) - \frac{v_B^2 \rho}{2} \left(1 + \sum \xi_B b + \lambda_B \frac{L_B}{d_B} \right) \sum \xi_B b, \quad (1)$$

де p_0 – атмосферний тиск, $p_0 = 101325$ Па; ρ – густина РР за умови пускової температури, кг/м³; g – прискорення вільного падіння, $g = 9,8$ м/с²; h_{bc} – негативна висота всмоктування (насос розташований нижче рівня РР в гідробаку), м; v_B – швидкість РР у всмоктувальному трубопроводі, м/с; $\sum \xi_B b$ – сумарний коефіцієнт місцевих опорів всмоктувальної гідролінії насоса; b – коефіцієнт, що бере до уваги вплив в'язкості РР на коефіцієнт місцевих опорів всмоктувальної лінії насоса; λ_B – коефіцієнт тертя РР за умови пускової температури; L_B і d_B – довжина й діаметр всмоктувального трубопроводу насоса, м.

Тоді умова пуску насоса визначиться як $p_B > [p_B]$.

Способом визначення величини тиску у всмоктувальному трубопроводі насоса p_B за допомогою наведеного виразу та її порівняння з допустимою величиною $[p_B]$ можна встановити можливість пуску насоса за заданих властивостей всмоктувальної лінії гідропривода.

Можливими технічними рішеннями, спрямованими на поліпшення пускових властивостей насоса, є: збільшення негативної висоти всмоктування h_{bc} ; зменшення швидкості всмоктування рідини v_B унаслідок збільшення діаметра d_B відповідного трубопроводу; зниження місцевих опорів $\sum \xi_B b$ на

ділянці всмоктування; застосування наддуву (створення надлишкового тиску) надридинної поверхні гідробака інертним газом або повітрям, а також підігрів РР.

Склад запропонованого пристрою для передпускового підігріву РР гідропривода машини містить компресор, що подає стиснене повітря в ресивер, який за допомогою додаткового вентиля сполучається з надридинною порожниною ізолюваного від атмосфери на період пуску насоса гідробака. Тиск p_v в цій порожнині контролюється за допомогою манометра.

Днище гідробака додатково забезпечене двома горизонтальними напрямними у формі кутків, за якими безпосередньо під днищем в районі впускного патрубка насоса встановлюється теплова камера. Вона щільно прилягає своєю верхньою поверхнею без теплоізоляції до днища гідробака. У такий спосіб, опиняючись у просторі між баком і насосом, камера займає місце від краю днища гідробака до впускного патрубка насоса.

Привод насоса здійснюється від двигуна, впускний трубопровід якого може бути з'єднаний за допомогою двопозиційного розподільника із зовнішнім середовищем або із впускним гнучким теплоізолюваним металорукавом, що щільно сполучений із вхідним та вихідним патрубками теплової камери пристрою. Температура РР в гідробаку контролюється термометром.

Верхня металева поверхня (без теплоізоляції) камери слугує для передачі теплової енергії днищу гідробака в районі впускного патрубка насоса. Одночасно частина цієї поверхні, яка виступає за краї теплоізолюваної камери, сполучається з напрямними кутками днища гідробака й слугує для утримання пристрою для передпускового підігріву під днищем гідробака на цих напрямних. Потужність, що передається робочій рідині від теплового потоку (крізь верхню поверхню теплової камери та днище гідробака) визначається за формулою

$$Q = k_{\text{тн}} \cdot S_{\text{тн}} \cdot \Delta T, \quad (2)$$

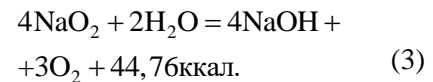
де $k_{\text{тн}}$ – коефіцієнт тепловіддачі крізь стінку, Вт/(м²·К); $S_{\text{тн}}$ – площа теплопередавальної поверхні теплової камери, м²; ΔT – різниця температур відпрацьованих газів і РР, °С.

Залежно від прогріву РР в районі впускного патрубка насоса, що контролюється термометром, у надридинну порожнину гідро-

робака, ізолювану від атмосфери на період пуску насоса, за допомогою додаткового вентиля від ресивера створюється надлишковий тиск (що не перевищує 0,05 МПа), величина якого регулюється вентилями.

Обидва гнучких рукави та всі поверхні теплової камери, крім верхньої, що звернена до днища гідробака, покриті теплоізоляційним матеріалом, щоб уникнути втрати тепла, термічного впливу на елементи конструкції машини та небезпеки для персоналу. Як джерело теплової енергії пристрою може застосовуватися двигун внутрішнього згоряння, теплогенератор тощо.

За умови використання двигуна як теплоносія відпрацьованих газів поступово відкладаються їх частинки (наприклад, сажа) на внутрішній поверхні рукавів і теплоізолюваної камери. Це призводить до зниження коефіцієнта теплопередачі крізь стінку й ефективності роботи пристрою. Для періодичного очищення внутрішньої поверхні стінок металорукавів і теплоізолюваної камери від частинок незгорілого палива до складу відпрацьованих газів вводиться дрібнодисперсний перекис натрію NaO_2 . У цьому разі відбувається його активна реакція з водою та виділення тепла за формулою



У процесі реакції виділяється кисень, що окисляє (допалює) сажу на внутрішніх стінках пристрою. Як показав експеримент, за такого контакту NaO_2 з частинками незгорілого палива в зоні підігріву, виготовлений у формі металевої труби, періодично утворюється факел полум'я, що призводить до швидкого вигорання частинок забруднень. Під час очищення нагрівальну камеру необхідно обов'язково зняти з машини.

На підставі аналізу схем і конструкцій, що забезпечують номінальний температурний режим робочої рідини гідропривода, розроблена схема (рис. 1).

Запропонований пристрій передпускового підігріву покращує експлуатаційні властивості гідропривода й може бути використаний на дорожньо-будівельній техніці, в інженерних машинах різного призначення, а також в інших галузях промисловості під час експлуатації машин з гідроприводом. Це дає змогу спростити конструкцію систем підігріву та, як наслідок, підвищити надійність, знизити витрати на їх виготовлення та експлуатацію.

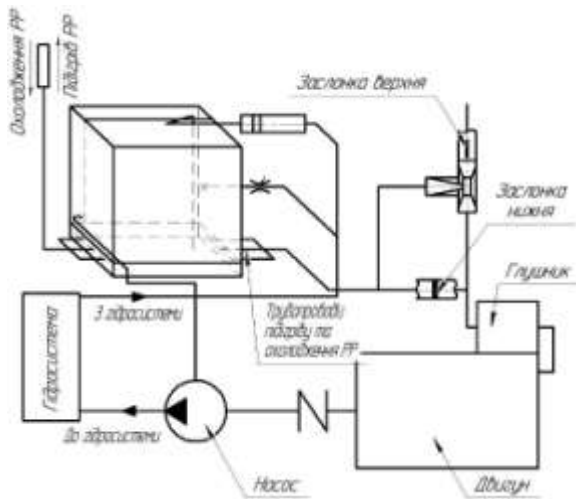


Рис. 1. Схема роботи вдосконаленого гідробака в системі забезпечення номінальної температури робочої рідини

Подібний принцип дії теплоізолюваної камери також може бути застосований для передпускового підігріву моторної оливи в двигунах внутрішнього згорання без прямого контакту високотемпературних відпрацьованих газів з оливним піддоном, що дасть змогу уникнути основного недоліку нині застосовуваних рідинних передпускових підігрівачів, що використовують як паливо бензин, – можливість викиду полум'я та високий ризик пожежонебезпеки.

Висновки

Обґрунтовано розрахункову модель передпускового підігріву робочої рідини гідропривода мобільних машин. Установлення пристрою для передпускового підігріву робочої рідини гідропривода покращує експлуатаційні властивості всієї машини й може бути використано в мобільних машинах, на дорожньо-будівельній техніці, в інших галузях промисловості під час експлуатації машин з гідроприводом. Також це дає змогу підвищити надійність, спростити конструкцію систем підігріву, знизити витрати на її виготовлення. Запропонований комплекс заходів, що передбачає систему підігріву, спрямований на досягнення значного підвищення надійності гідропривода й покращення експлуатаційних характеристик гідрофікованих мобільних машин.

Література

1. Jasiński Ryszard. Problems of the starting and operating of hydraulic units and systems in low ambient temperature (Part I). *Polish Maritime Research*, vol. 15, no. 4, Sciendo, 2008, pp. 37–44. <https://doi.org/10.2478/v10012-007-0095-9>

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. Пімонов І.Г., Керницький Я.О. Дослідження системи діагностичних параметрів гідропривода з урахуванням похибки вимірювань. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. 2023. Т. 1. № 101. С. 86–91. DOI: <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2023.101.0.86>
4. Nikita Medvedev, Igor Pimonov. Increase the operation of excavators of the fourth size group. *Annali d'Italia (Italy's scientific journal). Technical sciences*. Florence, Italy, 2024, no. 61, pp. 85–87. <https://surl.li/trafgf>
5. Аврунін Г.А., Пімонов І.Г., Щербак О.В., Ярижко О.В., Мороз І.І. Аналіз сучасних технічних засобів для обслуговування аеродромів і літаків. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. 2022. № 99. С. 34–41. DOI: <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2022.99.0.34>
6. 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>

References

1. Jasiński Ryszard. Problems of the starting and operating of hydraulic units and systems in low ambient temperature (Part I). *Polish Maritime Research*, vol. 15, no. 4, Sciendo, 2008, pp. 37–44.
2. Kosolapov V. Results of modelling the effect of temperature on the thickness of the surfactants layer. *Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University*, 2023, no. 101, pp. 81–85.
3. Pimonov I.G., Kernitsky Ya.O. Studying the system of diagnostic parameters of the hydraulic drive taking into account the measurement error. *Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University*, 2023, no. 101, pp. 86–91.
4. Nikita Medvedev, Igor Pimonov. Increase the operation of excavators of the fourth size group. *Annali d'Italia (Italy's scientific journal). Technical sciences*. Florence, Italy, 2024, no. 61, pp. 85–87.
5. Avrunin G.A., Pimonov I.G., Shcherbak O.V., Yaryzhko O.V., Moroz I.I. Analysis of modern technical means for servicing airports and airplanes. *Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University*, 2022, no. 99, pp. 34–41.
6. 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.

Пімонов Ігор Георгійович, к.т.н., доц. каф. експлуатації, випробувань, сервісу будівельних і дорожніх машин, тел. +38 050-217-05-24, igor_lena@ukr.net,

Пенкіна Наталія Петрівна, асистент каф. експлуатації, випробувань, сервісу будівельних і дорожніх машин, тел. +38 067-972-79-33, natali_penkina@ukr.net,

Яришко Олександр Володимирович, к.т.н., доц. каф. експлуатації, випробувань, сервісу будівельних і дорожніх машин, тел. +38 097-655-08-60, yaryzko@gmail.com,

Мощенко Василь Іванович, к.т.н., проф. каф. експлуатації, випробувань, сервісу будівельних і дорожніх машин, тел. +38 096-359-79-46, moshenok@gmail.com,

Салій Юрій Леонідович, асистент каф. експлуатації, випробувань, сервісу будівельних і дорожніх машин, тел. +38 096-961-03-70, salij36@gmail.com.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

Development of a calculation model for the working fluid heating of a hydraulic drive in mobile machines.

Abstract. Problem. *The article deals with the topical and modern issue of ensuring high reliability and increasing the productivity of machines equipped with a hydraulic drive. A promising direction is to increase the efficiency of machines by developing a system of thermal control of the working fluid. The design of hydraulic drives requires innovations in the design of hydraulic tanks and their location in the machine. It is necessary to take into account the existing experience of designing and operating similarly designed hydrofueled machines. As a result, it is planned to develop a system of measures that increases the efficiency of the hydrofied machine. Goal.*

The goal is the development of the method of road marking and automatic control of the road traffic using multifunctional road panels. Methodology. *The aim is to develop a method of heating the hydraulic fluid of the actuator. Results.* *The principle of operation of the working fluid heating system is described. The expected results of the work are a system of measures that will significantly increase the reliability of the hydraulic drive and the efficiency of the entire hydrofied machine. Originality.* *The effectiveness of the hydraulic actuator itself is ensured by high-quality design, manufacture, and operation. The work is aimed at using the developed equipment in the hydraulic drive to stabilise the parameters of the working fluid, which must be maintained throughout the operation of the construction machine. Practical value.* *As a result, it is planned to develop a system of measures to improve the efficiency of the hydrofiltration machine.*

Key words: *mobile machines, hydraulic drive, operation, adaptation, design parameters, working fluid temperature.*

Pimonov Ihor, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Operation, Testing, Service of Construction and Road Vehicles Department, ORCID: 0000-0001-6100-3529, igor_lena@ukr.net,
Penkina Nataliia, Assistant, Operation, Testing, Service of Construction and Road Vehicles Department, ORCID:0000-0003-3871-5282, natali_penkina@ukr.net,

Yaryzhko Oleksandr, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Operation, Testing, Service of Construction and Road Vehicles Department, ORCID: 0000-0001-6398-8472, yaryzko@gmail.com,

Moschenok Vasyl, Professor, Operation, Testing, Service of Construction and Road Vehicles Department, ORCID:0000-0002-9407-9762, moshenok@gmail.com,

Saliy Yuriy, Assistant, Operation, Testing, Service of Construction and Road Vehicles Department, urasaliy36@gmail.com.

Kharkiv National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.