

УДК 625.7.08.002.5

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2022.99.0.62

## ДО РОЗРОБЛЕННЯ ДІАГНОСТИЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ОБ'ЄМНИХ ГІДРОПРИВОДІВ БУДІВЕЛЬНИХ І ДОРОЖНІХ МАШИН

Пімонов І. Г., Єфименко А. О., Жук Д. О., Приходько В. С.  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

**Анотація.** Розглянуті питання, пов'язані з розробленням діагностичних засобів для об'ємних гідروприводів будівельних і дорожніх машин з метою підвищення ефективності їхньої експлуатації. Крім того, проведений аналіз передумов технічного діагностування гідроприводів та їхнього виробничого циклу та запропонована методика розрахунку економічного ефекту від застосування конкретних засобів діагностики. Такий алгоритм дає зменшення загальних витрат, а саме: вартість розроблення та виготовлення діагностичного устаткування, його експлуатацію, а також вартість підготовки конкретних гідроприводів до діагностування.

**Ключові слова:** об'ємний гідропривод, гідроприводи, технічне діагностування, діагностичні методи, прилади й параметри.

### Вступ

Підвищення ефективності експлуатації будівельних і дорожніх машин (БДМ) здебільшого залежить від надійності роботи об'ємного гідропривода. Система заходів, що забезпечує надійну роботу гідропривода, ґрунтується на діагностиці. Діагностування гідропривода має бути передбачене на етапі проектування та постійно використовуватись у процесі виготовлення його елементів та під час експлуатації гідроприводів БДМ.

Діагностування гідроприводів містить діагностичні моделі, характеристики діагностування, особливості діагностування і вимог до діагностичних систем в умовах експлуатації гідроприводів БДМ, а також методи діагностування.

### Аналіз публікацій

У технічній діагностиці застосовують тестове й функціональне діагностування. У разі функціонального діагностування використовуються дії, які задаються робочими процесами гідропривода. За умови тестового діагностування до гідроагрегатів подаються спеціальні тестові дії. За реакцією на ці дії оцінюється технічний стан гідроприводів. Функціональні й тестові дії, між якими немає чітких меж, здійснюються тільки в межах технічної характеристики гідроприводу. Різниця полягає в тому, що в першому випадку діагностична система пристосовується до функціонального гідропривода, а в тестово-

му діагностуванні функціональні параметри обираються з умов найбільшої ефективності діагностування. Отже, у разі функціонального діагностування параметри гідропривода не можуть встановлюватися, керуючись ефективністю діагностування, оскільки вони задаються робочими процесами гідропривода. Тому необхідно вдосконалювати діагностування гідроприводів на основі тестового діагностування. Діагностичні моделі бувають логічні, структурно-функціональні та аналітичні. На основі цих моделей устатковується необхідна система діагностичних параметрів [1, 2].

У розробленні засобів технічного діагностування гідроприводів суттєву роль відіграють досягнуті з погляду точності результати, витрати на виготовлення цих засобів та витрати безпосередньо на діагностування під час експлуатації БДМ [3, 4].

### Мета та постановка завдання

Аналіз загальних способів і алгоритмів діагностування з метою розроблення діагностичних пристроїв для гідроприводів з урахуванням функціонально-вартісного аналізу.

### Основна частина

На рис. 1 наведені основні передумови технічного діагностування, зокрема види, характеристики й методи. Ці дані дозволяють створити алгоритм (структуру) досліджень щодо діагностування гідроприводів БДМ.

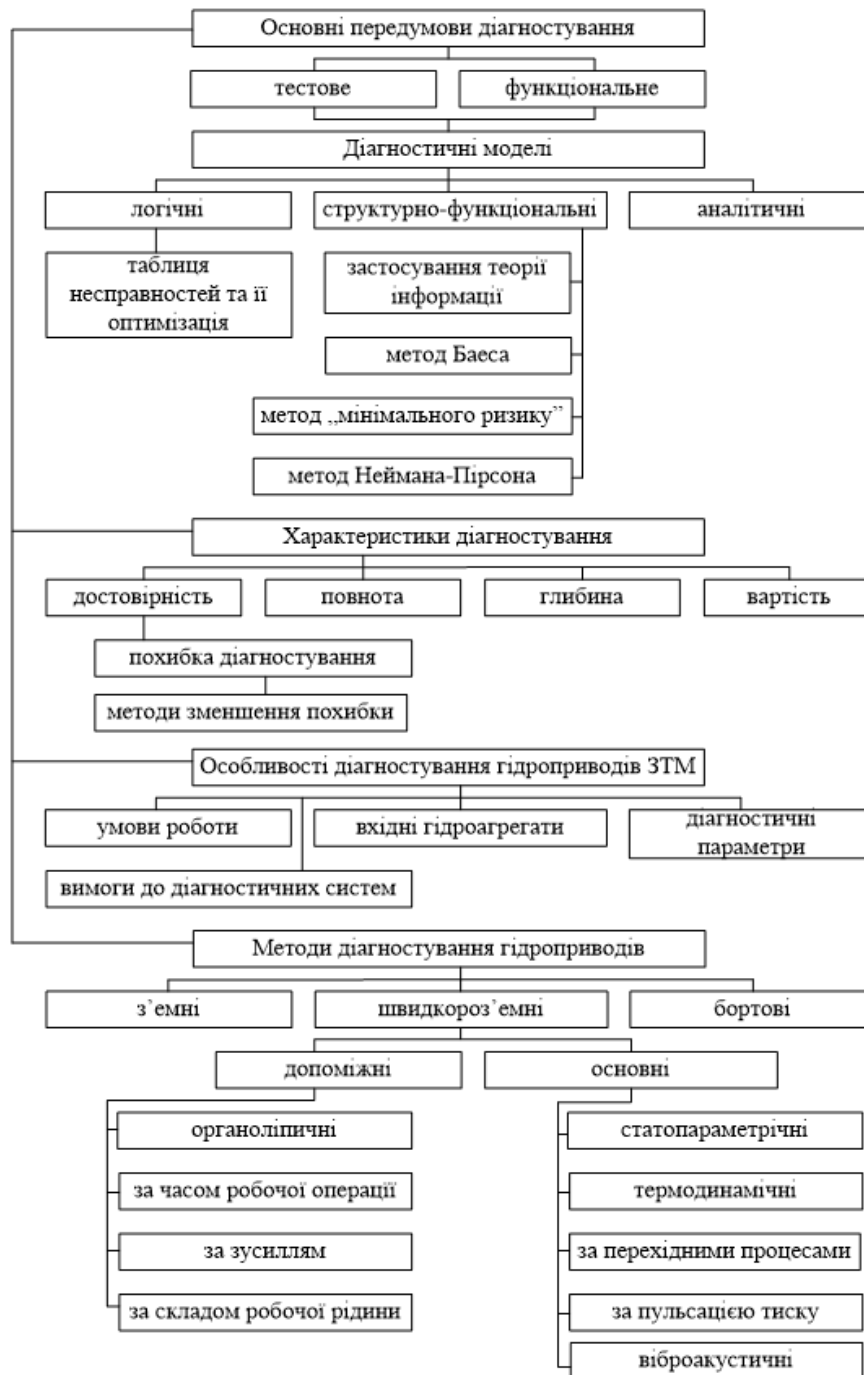


Рис. 1. Структура досліджень щодо діагностування гідроприводів БДМ

Розглянемо характеристики діагностичних моделей.

*Логічні моделі.* Номінальні й екстремальні значення вихідних функціональних параметрів для окремих гідропрістроїв наведені у відповідних технічних умовах. Тому можливий *допусковий спосіб* діагностування типу «в нормі / не в нормі», що дає змогу застосувати в розробленні діагностики гідропрістроїв математичні моделі логічного типу, а для їхнього аналізу методи алгебри-логіки. На основі логічної моделі можна оптимізувати систему діагностичних ознак. Проте за-

стосування логічних моделей для цілей діагностики вимагає, щоб за наявності декількох входів, блок (гідропрістрої) мав тільки один вихід. Крім того, вихід блоку був би допустимим тільки у тому випадку, коли всі його входи допустимі й блок справний. Найбільшого поширення набули аналітичні та структурно-функціональні моделі гідропривода.

*Структурно-функціональні моделі.* Принципові схеми гідроприводів можуть бути легко розбиті на блоки структурних схем. Блоками в цьому разі є гідропрістрої (насос, гідромотор, гідроциліндр, бак, фільтр, гідро-

аккумулятор тощо). Виходом такого блоку є вектор, складниками якого є тиск, витрата, температура робочої рідини, її забрудненість та інші параметри. Сукупність таких блоків утворює структурно-функціональну модель. Ця діагностична модель замінює аналітичну, якщо аналітична модель є складною.

На основі структурно-функціональних моделей розроблені системи діагностичних параметрів із застосуванням теорії інформації, методу Баєса, методу «мінімального ризику», методу Неймана – Пірсона тощо. За допомогою цих методів можна визначити також інформацію, яку вносить до системи певна діагностична ознака та реалізує її конкретне значення (інформаційний метод).

Метод Баєса дозволяє визначити вірогідність несправності за наявності відповідного значення діагностичної ознаки або поєднання ознак.

Метод «мінімального ризику» дає змогу набути граничних значень діагностичних ознак за мінімумом втрат, пов'язаних з вірогідністю відмов першого та другого роду, якщо апіорі відомі їхні значення та вартість.

Метод Неймана – Пірсона визначає граничні значення діагностичних параметрів із допустимої вірогідності пропуску несправності.

За певної ефективності цих методів вони мають такі недоліки:

- для їхнього застосування мають бути встановлені статистичний зв'язок між несправністю та діагностичною ознакою, а також інші статистичні дані, що можна отримати для наявних методів діагностування, але їх важко отримати для методів, що розробляються або тих, що вдосконалюються;
- отримання статистичних даних, що змінюються залежно від технології виробництва машин і умов їхньої експлуатації, пов'язане з постійними витратами, що зменшує ефективність діагностування;
- методи дозволяють оцінити ефективність діагностичних параметрів із числа взятих у цій моделі;
- розробити на основі структурно-функціональної моделі новий діагностичний параметр неможливо;
- відсутність аналітичного зв'язку між діагностичними параметрами ускладнює встановлення граничних значень для нових діагностичних параметрів і методів.

*Аналітичні моделі* гідроприводів машин і окремих гідроприводів стали базою для

розроблення більшості методів діагностування. Ці моделі, як правило, є складними математичними системами, аналіз яких здебільшого потребує використання сучасних прикладних програм. Проте аналітичні моделі дають змогу встановити зв'язок між параметрами окремих гідроприводів гідропривода та їхнім технічним станом (структурними параметрами, що змінюються в процесі експлуатації). Складність необхідних у цьому разі математичних операцій долається застосуванням сучасної комп'ютерної техніки.

З огляду на вищевикладене, удосконалення діагностування доцільно здійснювати на основі аналітичних моделей. Треба зазначити також, що методи забезпечення точності на сьогодні недостатньо використовуються для вдосконалення діагностування, що є невикористаним резервом.

Виробничий цикл гідроприводу (рис. 2) передбачає: виготовлення і перевірку нового гідроприводу, установку на машину (БДМ), експлуатацію у складі БДМ з необхідним технічним обслуговуванням і ремонтом, ремонт на спеціалізованих підприємствах і повторення циклів до утилізації. На заводі-виробнику основним завданням діагностики є визначення якості виготовленої продукції, і необхідна глибина діагностування обмежується гідроприводом загалом. У експлуатаційній організації основним завданням діагностики є контроль поточного технічного стану, пошук того гідроприводу, що відмовив, та прогнозування ресурсу для його подальшої роботи. На виробничих базах до цих завдань додається необхідність визначення технічного стану знятого або встановленого на машину гідроприводу. Практично, в умовах експлуатаційних організацій у несправному гідроприводі можливо тільки замінити певний елемент, найчастіше ущільнення. Усі інші види ремонтів проводяться на спеціалізованих підприємствах, де зношені прецизійні пари ремонтуються на потоці наплавленням і шліфуванням на ремонтний розмір без поелементної дефектації (або за іншими технологіями). Локалізація несправності на рівні гідроприводу є здебільшого достатньою. Отже, необхідна глибина діагностування обґрунтовується виробничим циклом гідроагрегатів [5, 6]. У табл. 1 наведена методика розрахунку економічної ефективності створюваних засобів технічного діагностування гідроприводів, яка може бути застосована для гідроприводів БДМ.



Рис. 2. Виробничий цикл гідропрстрою

Таблиця 1 – Методика розрахунку ефективності діагностування гідроприводів БДМ

№ поз	Діагностування	
	знімне	бортове
1.	Прибуток	
	$P_6 = P_6 - Z_6 = C_6 V_6 T_6 - (C_{тек.6} + C_{ед.вр.6} + C_{д.б.})$	$P_n = P_n - Z_n = C_n V_n T_n - (C_{тек.н} + C_{ед.вр.н} + C_{д.н.})$
2.	Поточні витрати	
	$C_{тек.6} = C_{м.6} + C_{з.ч.6} + C_{з.п.6} + A_6 + НР_6$	$C_{тек.н} = C_{м.н} + C_{з.ч.н} + C_{з.п.н} + A_n + НР_n$
3.	Одноразові витрати	
	$C_{ед.вр.6} = K_6 (E + E_n)$	$C_{ед.вр.н} = K_n (E + E_n)$
4.	Витрати на діагностування	
	$C_{д.б} = \frac{1}{N_{маш.}} (K_{г.6} + K_{л.б}) (E + E_n) + C_{тек.л} \beta + C_{н.б} + C_{л.б} + C_{под.б}$	$C_{д.н} = K_{г.н} (E + E_n) + C_{н.н} + C_{л.н} + C_{под.н}$
5.	Умова ефективності бортового діагностування	
	$P_6 = P_n; C_{тек.6} = C_{тек.н}; C_{ед.вр.6} = C_{ед.вр.н}; C_{н.б} = C_{н.н}; C_{л.б} = C_{л.н}$ $C_{д.б} \geq C_{д.н}$	

Позначки, наведені в таблиці: індекси «б» і «н» відповідають базовому й новому варіантам;  $P_6, P_n, Z_6, Z_n$  – прибуток, результат і витрати;  $C_6, V_6, T_6, C_n, V_n, T_n$  – ціна, об’єм виготовленої продукції та час роботи машин за рік;  $C_{тек.6}, C_{ед.вр.6}, C_{д.б.}, C_{тек.н}, C_{ед.вр.н}, C_{д.н}$  – поточні, одноразові витрати і витрати на діагностування;  $C_{м.6}, C_{з.ч.6}, C_{з.п.6}, A_6, НР_6, C_{м.н}, C_{з.ч.н},$

$C_{з.п.н}, A_n, НР_n$  – витрати на матеріали, запасні частини, заробітну плату, амортизаційні відрахування та реновацію;  $K_6, E, E_n, K_n$  – одноразові витрати та коефіцієнти ефективності капітальних вкладень;  $N_{маш.}, K_{д.б}, K_{д.н}, K_{л.}, C_{тек.л}$  – кількість гідропрстроїв, що діагностуються за допомогою знімного устаткування з машин, одноразові витрати на діагностичне

устаткування, одноразові й поточні витрати на летючку, обслуговуючу парк машин ( $N_{\text{маш}}$ ),  $b$  – коефіцієнт, що враховує інші, окрім діагностування, види робіт, виконаних за допомогою летючки;  $C_{\text{нб}}$ ,  $C_{\text{лб}}$ ,  $C_{\text{нн}}$ ,  $C_{\text{лн}}$  – витрати, пов'язані з пропуском несправного та відправкою в ремонт справного гідроагрегатів (вартість помилок першого та другого роду);  $C_{\text{под.б}}$ ,  $C_{\text{под.н}}$  – вартість підготовки гідропростою до діагностування.

### Висновки

1. Розглянуті алгоритми діагностування гідропростоїв та параметри їхнього виробничого циклу разом із подальшим функціонально-вартісним аналізом дають змогу створити ефективні нові методики та засоби технічного діагностування об'ємних гідроприводів БДМ.

2. Ефективнішим визначенням показників діагностичних параметрів у системі з похибкою самих діагностичних приладів діагностування гідроприводів БДМ є устаткування, що дає необхідний результат із меншими загальними витратами на діагностування. Ці витрати передбачають вартість діагностичного устаткування, його експлуатацію та розроблення, а також вартість підготовки гідропривода до діагностування.

### Література

1. Объемный гидропривод в мобильных подъемниках с рабочими платформами: монография / И. Г. Кириченко, Г. А. Аврунин, В. Б. Самородов, А. В. Ярышко. Харьков: ХНАДУ, 2018. 296 с.
2. Григоров О. В. Гидравлический привод подъемнотранспортных, строительных та дорожных машин: навч. посіб. Харків: НТУ «ХПИ», 2005. 264 с.
3. Каверзин С. В., Подсосов С. В. Стабилизация температуры рабочей жидкости гидроприводов строительных машин. Красноярск: Изд-во Красноярского ун-та, 2001. 249 с.
4. Hydraulic Motor/Pump Series F11/F12 Fixed Displacement. – PARKER HYDRAULICS; HY17-8249/UK, October, 2000. 31 p.
5. Fluid power systems and components ISO 1219-1 – Graphic symbols and circuit diagrams. Part 1: Graphic symbols for conventional use and data-processing applications. ISO 1219-12-1:2006 (E/F). 88 p.
6. Orbital Motors Type OMP, OMR and OMH. Danfoss. Technical Information. ENGINEERING TOMORROW. – powersolutions.danfoss.com. January 2018. 520L0262. BC00000084en-US0402. 116 p.

### References

1. Volumetric hydraulic drive in mobile lifts with work platforms / I. G. Kyrychenko, G. A. Avrunyn, V. B. Samorodov, A. V. Yaryzhko. Kharkiv: KhNADU, 2018. 296 s.
2. Grygorov O.V. Hydraulic drive for passenger transport, alarm and road vehicles: Navch. Posibny`k. Kharkiv: NTU «XPI», 2005. 264 s.
3. Kaverzyn S.V., Podsosov S.V. Stabilization of the temperature of the working fluid of hydraulic drives of construction machines. Krasnoyarsk: Y`zd-vo Krasnoyarskogo un-ta, 2001. 249 s.
4. Hydraulic Motor/Pump Series F11/F12 Fixed Displacement. PARKER HYDRAULICS; HY17-8249/UK, October, 2000. 31 p.
5. Fluid power systems and components ISO 1219-1 – Graphic symbols and circuit diagrams. Part 1: Graphic symbols for conventional use and data-processing applications. ISO 1219-12-1:2006 (E/F). 88 p.
6. Orbital Motors Type OMP, OMR and OMH. Danfoss. Technical Information. ENGINEERING TOMORROW. powersolutions.danfoss.com. January 2018. 520L0262. BC00000084en-US0402. 116 p.

**Пімонов Ігор Георгійович**, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних і дорожніх машин, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, igor\_lena\_p@ukr.net, тел. +38 050-217-05-24;

**Єфименко Андрій Олександрович**, аспірант кафедри будівельних і дорожніх машин, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, kaf\_bdm@ukr.net, тел. +38 057-738-77-97;

**Жук Денис Ігорович**, аспірант кафедри будівельних і дорожніх машин, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, kaf\_bdm@ukr.net, тел. +38 057-738-77-97;

**Приходько Володимир Сергійович**, бакалавр кафедри будівельних і дорожніх машин, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, kaf\_bdm@ukr.net, тел. +38 057-738-77-97.

### Determination of diagnostic errors in the system of diagnostic parameters of hydraulic drives of construction and road machinery

**Abstract. Problem.** The article considers the issue of increasing the efficiency of operation of construction machines by improving systems of measures that provide an effective system for diagnosing hydraulic drive elements. The considered existing methods prove that a more effective determination of indicators of diagnostic parameters in a system with the error of the diagnostic devices themselves for diagnosing hydraulic drives of construction and road machines will be the equipment that gives the necessary result with lower overall costs for diagnostics with minimal costs, including the cost of diagnostic equipment, its operation and development, as well as

the cost of preparing the hydraulic drive for diagnosis. **Goal.** The goal is determination of diagnostic errors in the system of diagnostic parameters of hydraulic drives of construction and road machinery. **Methodology** In technical diagnostics, test and functional diagnostics are used. During functional diagnosis, actions are used that are set by the working processes of the hydraulic drive. During test diagnostics, special test actions are applied to hydraulic units. The technical condition of hydraulic units is evaluated based on the reaction to these actions. Functional and test actions, between which there are no clear boundaries, are carried out only within the technical characteristics of the hydraulic unit. **Results.** A more effective determination of the indicators of diagnostic parameters in a system with the error of the diagnostic devices themselves for diagnosing hydraulic drives of construction and road machines will be the equipment that gives the required result with lower overall costs for diagnostics. These costs include the cost of diagnostic equipment, its operation and development, as well as the cost of preparing the hydraulic drive for diagnosis. **Originality.** Accuracy in this case is determined by the analytical dependence that connects the diagnostic parameters and other methods depending on the type of this dependence. Thus, it was established that the use of a lower rotation frequency of the pump compared to its passport data increases the share of leaks in the total flow of the working fluid and allows to reduce the diagnostic error by 40...60% without

additional costs for the purchase and operation of measuring devices. Changing the parameters is possible within the technical characteristics of the hydraulic unit. Methods of ensuring accuracy are currently insufficiently used to improve diagnostics, which is an unused reserve for increasing its efficiency. **Practical value.** Efficiency of operation of construction machines is increased by improving the systems of measures that provide an effective system for diagnosing hydraulic drive elements

**Key words:** hydraulic drive, diagnostics, diagnostic methods, diagnostic devices, diagnostic parameters.

**Pimonov Ihor**, PhD in Technical Sciences, Professor, Kharkiv National Automobile and Highway University, 25 Yaroslava Mudroho, Kharkiv, 61002, Ukraine, igor\_lena\_p@ukr.net, +380502170524;

**Yefimenko Andriy**, graduate student of the Department of Construction and Road Machinery, Kharkiv National Automobile and Road University, kaf\_bdm@ukr.net, tel. +38 057-738-77-97;

**Zhuk Denis**, graduate student of the Department of Construction and Road Machinery, Kharkiv National Automobile and Road University, kaf\_bdm@ukr.net, tel. +38 057-738-77-97;

**Prykhodko Volodymyr**, bachelor of the Department of Construction and Road Machinery, Kharkiv National Automobile and Road University, kaf\_bdm@ukr.net, tel. +38 057-738-77-97.

---