

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

Пімонов Ігор Георгійович

УДК 625.7.08.002.5: 616-07

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ
ГІДРОАГРЕГАТІВ БУДІВЕЛЬНИХ І ДОРОЖНІХ МАШИН
УДОСКОНАЛЕННЯМ БОРТОВОГО ДІАГНОСТУВАННЯ**

Спеціальність 05.05.17 - Гідравлічні машини та гідропневмоагрегати

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2006

Дисертація є рукописом.

Робота виконана на кафедрі підйомно-транспортних, будівельних, дорожніх машин і обладнання в Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті Міністерства освіти і науки України.

- Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор
Лисіков Євген Миколайович, Українська державна академія залізничного транспорту, професор кафедри будівельних, колійних та вантажно-розвантажувальних машин, м.Харків.
- Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор
Черкашенко Михайло Володимирович, Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, професор кафедри гідравлічних машин, м.Харків;
- кандидат технічних наук,
Воронін Сергій Володимирович, Українська державна академія залізничного транспорту, доцент кафедри будівельних, колійних та вантажно-розвантажувальних машин, м.Харків.
- Провідна організація:** Національний технічний університет України (КПІ),
м. Київ

Захист дисертації відбудеться “21” вересня 2006 року о 15 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.11 у Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут” за адресою 61002, м. Харків, вул. Фрунзе,21.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”.

Автореферат розісланий 19 серпня 2006 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Юдін Ю.О.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. У процесі експлуатації гідроагрегатів будівельних і дорожніх машин найважливішим показником є експлуатаційна продуктивність, що залежить від технічного стану пристроїв гідроагрегату. При експлуатації необхідно забезпечити мінімум витрат на підтримку їх в технічно справному стані. Це завдання вирішується двома методами. Перший заснований на системі планово-попереджувального ремонту. Однак в наш час найбільш широке поширення одержує другий метод, який передбачає технічне обслуговування машин по потребі. Для цього використовують знімне й бортове діагностичне устаткування. Як показав аналіз науково-дослідних робіт у цій галузі, бортові діагностичні системи дозволяють визначити технічний стан гідроагрегатів і забезпечити технічне обслуговування по потребі, тому скорочуються простой машин, збільшується річний фонд часу роботи машин, і як наслідок, зростає їхня експлуатаційна продуктивність.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами й темами. Дисертаційна робота відповідає програмі “Підвищення надійності і довговічності машин і конструкцій”, наведеній в постанові Верховної Ради України №2750 від 16.10.92 з подальшими доповненнями; науковому напрямку Харківського національного автомобільно-дорожнього університету й кафедри підйомно-транспортних, будівельних, дорожніх машин і обладнання ХНАДУ по темі “Підвищення ефективності й ресурсозбереження дорожнього комплексу”.

Мета і задачі дослідження. Метою даних досліджень є вдосконалювання бортового діагностування, що дозволяє підвищити ефективність експлуатації гідроагрегатів будівельних і дорожніх машин.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- дослідити на основі рівняння витрати робочої рідини зв'язок між структурними й діагностичними параметрами стосовно до бортового діагностування;
- установити закономірність формування погрішності бортового діагностування при використанні методу діагностування з однієї точки;
- провести експериментальні дослідження загальної погрішності діагностування з урахуванням впливу на неї невідтворюваності гідроагрегату;
- розробити практичні рекомендації з конструкції й експлуатації бортової діагностичної системи й зробити оцінку економічної ефективності досліджень.

Об'єктом дослідження є гідроагрегати будівельних машин.

Предметом дослідження є властивості діагностичних параметрів, які дозволяють визначити технічний стан гідроагрегату.

Методи дослідження. Зв'язок між структурними й діагностичними параметрами гідроагрегатів встановлено на основі основних положень технічної діагностики й законів гідравліки.

Аналітичні залежності для оцінки погрішності бортового діагностування отримані на базі основних положень математичної статистики. Раціональний комплект засобів вимірів діагностичних параметрів встановлено шляхом використання основних положень по визначенню економічної ефективності науково-дослідних робіт. Експериментальні дослідження проведені відповідно до основ теорії планування і їхньої обробки.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

- розроблене бортове діагностування гідроагрегатів будівельних машин виміром визначального діагностичного параметра в одній точці;
- встановлений зв'язок між структурними й діагностичними параметрами пристроїв гідроагрегату й визначена система діагностичних параметрів для бортового діагностування;
- уперше встановлені закономірності, що визначають формування зв'язку між погрішністю бортового діагностування пристроїв гідроагрегату і їхніх складових у випадку невизначеності значень зазорів у пристроях гідроагрегату.

Практичне значення отриманих результатів.

1. Зниження вартості діагностування на 80...90% у порівнянні з поагрегатним методом при збереженні необхідної інформації про технічний стан гідроагрегату.

2. Основні результати теоретичних і експериментальних досліджень використовуються в навчальному процесі за фахом 7.090214 "Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні, меліоративні машини й обладнання" Харківського національного автомобільно-дорожнього університету.

3. Впровадження в експлуатаційних умовах бортового діагностування з однієї точки гідроприводу дозволяє одержати річний економічний ефект на одну машину 1000...1200грн.

4. Результати дисертаційної роботи впроваджені в ДП "СУМР" Харківспецбуд.

Особистий внесок здобувача. В опублікованих роботах здобувачем особисто були одержані наступні наукові результати, які представлені до захисту:

- встановлено зв'язок між структурними й діагностичними параметрами гідроагрегату й система визначальних діагностичних параметрів для бортового діагностування [2, 3, 4];
- встановлені аналітичні залежності, що визначають зв'язок між погрішністю бортового діагностування гідроагрегату і їх складовими [5];
- розроблене бортове діагностування гідроагрегату будівельних машин виміром визначального діагностичного параметра в одній точці [1, 3, 4];

- експериментальні дослідження з визначення впливу невідтворюваності гідроагрегату на погрішність діагностування [5].

Апробація результатів дисертації. Основні положення роботи доповідалися й обговорювалися:

- на 68, 69 і 70-й міжнародних науково-технічних конференціях кафедр ХНАДУ (Харків, 2003-2006р.);

- семінарі кафедри будівельних, колійних та вантажно-розвантажувальних машин Української державної академії залізничного транспорту (м.Харків, 2004р.);

- на наукових конференціях і семінарах: ІХ Міжнародна науково-практична конференція “Гідроаромеханіка в інженерній практиці” (м.Київ, 2004р.);

- XII міжнародна науково-практична конференція “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я” (м.Харків, 2004р.);

- повністю результати дисертаційної роботи доповідались на розширеному засіданні кафедри гідравлічних машин Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” (м.Харків, 2006р.).

Публікації. За результатами дисертації опубліковано 5 наукових праць у спеціалізованих виданнях, які затверджені переліком ВАК України. Отримано висновок державного департаменту інтелектуальної власності України про встановлення дати подачі заявки на винахід.

Структура й обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, основних результатів і висновків, переліку використаних джерел і додатків. Повний обсяг дисертації 202 сторінки, у тому числі 31 рисунок 4 з них на окремих сторінках, 22 таблиці 12 з них на окремих сторінках, 6 додатків на 44 сторінках, перелік використаних джерел на 9 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовується актуальність досліджень по вдосконалюванню бортового діагностування гідроагрегатів будівельних машин, формулюється мета й задачі дослідження, дається загальна характеристика дисертаційної роботи.

У **першому розділі** виконаний аналіз методів діагностування гідроагрегатів в умовах їхньої експлуатації стосовно до будівельних і дорожніх машин (далі БДМ). Проведений аналіз показав, що найбільше поширення одержали наступні методи діагностування: статопараметричні, термодинамічні, віроакустичні а також діагностування по перехідних процесах. Однак у цих методах не встановлений зв'язок між структурними й діагностичними параметрами пристроїв, що входять до складу гідроагрегату. Крім того аналіз проведених робіт показав, що більшість методів діагностування засновано на використанні періодично встановлюваного

діагностичного устаткування. Такі методи дозволяють одержати інформацію про технічний стан гідроагрегатів періодично. Стосовно до гідроагрегатів БДМ найбільш перспективним є бортове діагностування. Такий метод діагностування дозволяє одержати інформацію про технічний стан пристроїв гідроагрегату в будь-який момент часу його експлуатації. Реалізація бортового діагностування дозволяє зменшити витрати на діагностування, скоротити простой машин і як наслідок підвищити експлуатаційну продуктивність. Але реалізувати ці переваги можливо у випадку, якщо встановити взаємозв'язок між структурними й діагностичними параметрами, а також закономірність формування погрішності. Існуючі роботи в галузі діагностування гідроагрегатів не знайшли свого розвитку в дослідженні цього зв'язку.

У **другому розділі** – розроблені теоретичні основи взаємозв'язку між структурними й діагностичними параметрами стосовно до бортової системи діагностування гідроагрегатів. Взаємозв'язок між структурними й діагностичними параметрами встановлено на основі використання рівняння витрати робочої рідини:

$$F_0 = nV_0 - Q_n \left(p, t, n, \sum_{i=1}^{n1} S_{in} \right) - Q_p \left(p, t, \sum_{j=1}^{n2} S_{jp} \right) - Q_{zd} \left(p, t, \sum_{m=1}^{n3} S_{mzd} \right) - P_{zd} = 0 \quad (1)$$

де n – частота обертання насоса, об/хв;

t – температура робочої рідини, $^{\circ}\text{C}$;

$p = p_2 - p_1$ – різниця тисків на вході й виході пристрою гідроагрегату, МПа;

V_0 – робочий об'єм насоса, л/хв;

Q – внутрішні витоки в пристроях гідроагрегату, л/хв;

S - відповідно величини зазорів, мм.

Таке рівняння враховує витоки в пристроях гідроагрегату. У процесі діагностування ряд параметрів устанавлюється постійними (відтвореними), а по зміні визначального параметра визначається технічний стан пристроїв гідроагрегату. У дисертаційній роботі досліджені системи діагностичних параметрів при визначальних діагностичних параметрах подачі (продуктивності) і тиску. Якщо технічний стан пристроїв гідроагрегату визначається при діагностуванні по зміні продуктивності (визначальний параметр), то постійними є відтворені параметри: (частота обертання насоса, тиск і температура робочої рідини), а у випадку якщо визначати технічний стан по зміні тиску, то відтвореними параметрами є: частота обертання насоса й температура робочої рідини.

Якщо записати рівняння витрати робочої рідини з урахуванням діагностування гідроагрегатів з однієї точки в якому визначальним діагностичним параметром є продуктивність, то виходить наступна система рівнянь витрати робочої рідини стосовно до пристроїв гідроагрегату БДМ:

$$\begin{cases} F_1 = nV_o - Q_n - \Pi_n = 0, \\ F_2 = nV_o - Q_n - Q_p - \Pi_p = 0 \\ F_3 = nV_o - Q_n - Q_p - Q_{zm} - \Pi_{zd} = 0. \end{cases} \quad (2)$$

де Q_n, Q_p, Q_{gm} – відповідно значення витоків, вимірювані поагрегатно на виході насоса, розподільника, гідромотора;

Π_n, Π_p, Π_{gm} - відповідно значення витрати, вимірювані поагрегатно на виході насоса, розподільника, гідромотора.

Рішення цієї системи дозволяє встановити взаємозв'язок між структурними й діагностичними параметрами при визначальному діагностичному параметрі продуктивності й тиску (таблиця 1).

Таблиця 1

Система діагностичних параметрів стосовно до поагрегатного діагностування й діагностування виміром визначального параметра в одній точці гідроагрегату “по продуктивності”

1. Поагрегатне діагностування	
Система рівнянь, на основі яких здійснюється діагностування	Зв'язок між структурними й діагностичними параметрами
$F_1 = nV_o - Q_n - \Pi_n = 0$ $F_5 = \Pi_n - Q_p - \Pi_p = 0$ $F_6 = \Pi_p - Q_{zm} - n_{zm}V_{ozm} = 0$ $F_7 = \Pi_p - Q_{zq} - V_{zq}f_{zq} = 0$	$C_1 - \Pi_n = Q_n = f_1 S_n, C_n$ $\Pi_n - \Pi_p = Q_p = f_5 S_p, C_p$ $\Pi_p - n_{zm}V_{zm} = Q_{zm} = f_6 S_{zm}, C_{zm}$ $\Pi_p - V_{zq}f_{zq} = Q_{zq} = f_7 S_{zq}, C_{zq}$
Система визначальних діагностичних параметрів відповідно для насоса, розподільника, гідромотора - $\Pi_n, \Pi_n - \Pi_p, \Pi_p - n_{gm}V_{ogm}$	
2. Діагностування виміром визначального параметра в одній точці гідроагрегату	
$F_1 = nV_o - Q_n - \Pi_n = 0,$ $F_8 = \Pi_n - Q_p - P_p = 0,$ $F_9 = P_p - Q_{zm} - P_{zm} = 0$ $F_{10} = P_p - Q_{zq} - P_{zq} = 0$	$C_1 - \Pi_n = Q_n = f_1 S_n, C_n$ $\Pi_n - P_p = Q_p = f_5 S_p, C_p$ $P_p - P_{zm} = Q_{zm} = f_6 S_{zm}, C_{zm}$ $P_p - P_{zq} = Q_{zq} = f_7 S_{zq}, C_{zq}$
Система визначальних діагностичних параметрів відповідно для насоса, розподільника, гідромотора - $\Pi_n, \Pi_n - P_p, P_p - P_{gm}$	

У таблиці прийняті наступні позначення: $nV_o, \Pi_n, \Pi_p, n_{gm}V_{ogm}, V_{гц}f_{гц}$ – відповідно подача, продуктивність насоса, розподільника; фактична продуктивність гідромотора або гідроциліндра; C_1, C_n, C_p, C_{gm} або $C_{гц}$ – константи, куди входять і значення параметрів гідроагрегату, що установлюються при діагностуванні постійними (p, t, n).

У роботі наведено рішення системи рівнянь витрати робочої рідини при поагрегатному діагностуванні й діагностуванні виміром визначального параметра в одній точці гідроагрегату. Якщо за структурні параметри прийняти зазори в пристроях гідроагрегату, а в якості визначального діагностичного параметра - тиск, то їхній взаємозв'язок описується наступними рівняннями (таблиця 2).

Таблиця 2

Система діагностичних параметрів стосовно до поагрегатного діагностування й діагностування виміром визначального параметра в одній точці гідроагрегату "по тиску"

1. Поагрегатне діагностування (визначальні діагностичні параметри $\Pi_H, \Pi_H - \Pi_p, \Pi_p - n_{GM} V_{0GM}$)
Насос
$F_1 = nV_o - Q_H - \Pi_H = nV_o - 4 \cdot \left(\frac{\pi (A_1 S_p)^3 p t^{1,845} g}{1,275 \cdot 10^4 \gamma \cdot \ln\left(\frac{R_e}{r_1}\right)} - \frac{\pi^2 n (A_1 S_p)^3 R_e^2 - r_1^2}{6,375 \cdot 10^4 \cdot \ln\left(\frac{R_e}{r_1}\right)} \right) -$ $- 2 \cdot \left(\frac{p t^{1,845} g S_p^3 b}{5,1 \cdot 10^4 \gamma S_e z_k} - 4 \pi m b S_p R_e \right) - \frac{p t^{1,845} g (A_2 S_p)^3 b}{4,08 \cdot 10^5 \gamma L_c} - \Pi_H = 0,$
Розподільник
$F_7 = \Pi_H - Q_p - \Pi_p = \Pi_H - \pi p \frac{d_p S_{pa}^3 g}{12 \cdot \left(\frac{0,3 \cdot 50^{1,845}}{t^{1,845}} \right) \gamma L_p} - \Pi_p = 0,$
Гідромотор
$F_8 = \Pi_p - Q_{z_m} - n_{z_m} V_{o_{z_m}} = \Pi_p - 4 \cdot \left(\frac{\pi (A_1 S_p)^3 p t^{1,845} g}{1,275 \cdot 10^4 \gamma \cdot \ln\left(\frac{R_e}{r_1}\right)} - \frac{\pi^2 n (A_1 S_p)^3 R_e^2 - r_1^2}{6,375 \cdot 10^4 \cdot \ln\left(\frac{R_e}{r_1}\right)} \right) +$ $+ 2 \cdot \left(\frac{p t^{1,845} g S_p^3 b}{5,1 \cdot 10^4 \gamma S_e z_k} - 4 \pi m b S_p R_e \right) + \frac{p t^{1,845} g (A_2 S_p)^3 b}{4,08 \cdot 10^5 \gamma L_c} - n_{z_m} V_{o_{z_m}} = 0,$
2. Діагностування виміром визначального параметра в одній точці гідроагрегату (визначальні параметри $\Pi_H, \Pi_H - P_p, P_p - P_{GM}$)

Насос

$$F_{12} = nV_0 - Q_{H1} - \Pi_{x1} = nV_0 -$$

$$\left\{ \begin{aligned} & 4 \cdot \left(\frac{\pi (A_1 S_p)^3 p_{x1} t^{1,845} g}{1,275 \cdot 10^4 \gamma \cdot \ln\left(\frac{R_e}{\eta}\right)} - \frac{\pi^2 n (A_1 S_p)^3 R_e^2 - \eta^2}{6,375 \cdot 10^4 \cdot \ln\left(\frac{R_e}{\eta}\right)} \right) + \\ & + 2 \cdot \left(\frac{p_{x1} t^{1,845} g S_p^3 b}{5,1 \cdot 10^4 \gamma S_e z_k} - 4 \pi m b S_p R_e \right) + \frac{p_{x1} t^{1,845} g (A_2 S_p)^3 b}{4,08 \cdot 10^5 \gamma L_c} \end{aligned} \right\} - \mu f \sqrt{\frac{2 g p_{x1}}{\gamma}},$$

Розподільник

$$F_{15} = \left(\begin{aligned} & 4 \cdot \left(\frac{\pi (A_1 S_p)^3 t^{1,845} g}{1,275 \cdot 10^4 \gamma \cdot \ln\left(\frac{R_e}{\eta}\right)} + \frac{t^{1,845} g (A_2 S_p)^3 b}{4,08 \cdot 10^5 \gamma L_c} + \right. \\ & \left. + 2 \cdot \left(\frac{t^{1,845} g S_p^3 b}{5,1 \cdot 10^4 \gamma S_e z_k} \right) \right) \cdot p_{x1} - p_{x2} - \\ & - \pi p_{x2} \frac{d_p S_p^3 g}{12 \cdot \left(\frac{0,3 \cdot 50^{1,845}}{t^{1,845}} \right) \gamma L_p} + \mu f \sqrt{\frac{2g}{\gamma}} \left(\sqrt{p_{x1}} - \sqrt{p_{x2}} \right) = 0 \end{aligned} \right)$$

Гідромотор

$$F_{16} = \left(\begin{aligned} & 4 \cdot \left(\frac{\pi (A_1 S_p)^3 t^{1,845} g}{1,275 \cdot 10^4 \gamma \cdot \ln\left(\frac{R_e}{\eta}\right)} + \frac{t^{1,845} g (A_2 S_p)^3 b}{4,08 \cdot 10^5 \gamma L_c} + \right. \\ & \left. + 2 \cdot \left(\frac{t^{1,845} g S_p^3 b}{5,1 \cdot 10^4 \gamma S_e z_k} \right) \right) \cdot p_{x2} - p_{x3} - \\ & + \frac{\pi d_p S_p^3 g}{12 \cdot \left(\frac{0,3 \cdot 50^{1,845}}{t^{1,845}} \right) \gamma L_p} \cdot p_{x2} - p_{x3} - \\ & + \left(\begin{aligned} & 4 \cdot \left(\frac{\pi (A_1 S_p)^3 t^{1,845} g}{1,275 \cdot 10^4 \gamma \cdot \ln\left(\frac{R_e}{\eta}\right)} + \frac{t^{1,845} g (A_2 S_p)^3 b}{4,08 \cdot 10^5 \gamma L_c} + \right. \\ & \left. + 2 \cdot \left(\frac{t^{1,845} g S_p^3 b}{5,1 \cdot 10^4 \gamma S_e z_k} \right) \right) \cdot p_{x3} + \\ & + \mu f \sqrt{\frac{2g}{\gamma}} \left(\sqrt{p_{x2}} - \sqrt{p_{x3}} \right) = 0 \end{aligned} \right)$$

У таблиці прийняті наступні позначення: $n, n_{ГМ}$ – частота обертання вала насоса й гідромотора; $V_0, V_{0ГМ}$ – робочий об'єм насоса й гідромотора; $V_{ГЦ}, f_{ГЦ}$ – швидкість руху й площа поршня гідроциліндра; d_p, S_{pa}, L_p – відповідно значення діаметра, зазору й загальної довжини ущільнюючої частини розподільника.

Наведена система перетвориться з урахуванням постійних величин у вигляді рівняння, що дозволяє встановити зв'язок між структурними й діагностичними параметрами. Стосовно до шестеренного насоса таке рівняння має такий вигляд:

$$\Pi_H = nV_0 - k_H p - 0.013k_H^2 + 5.31k_H + 0.443, \text{ л/мин} \quad (3)$$

У роботі також наведені рівняння які показують взаємозв'язок між структурними й діагностичними параметрами при діагностуванні інших пристроїв.

Схема діагностування з однієї точки гідроагрегату й визначальним діагностичним параметром - тиском подана на рис. 1. Такий метод діагностування гідроагрегату дозволяє скоротити кількість і вартість устаткування й може бути використаний для бортового діагностування. Однак для реалізації цього способу діагностування необхідно встановити погрішність діагностування.

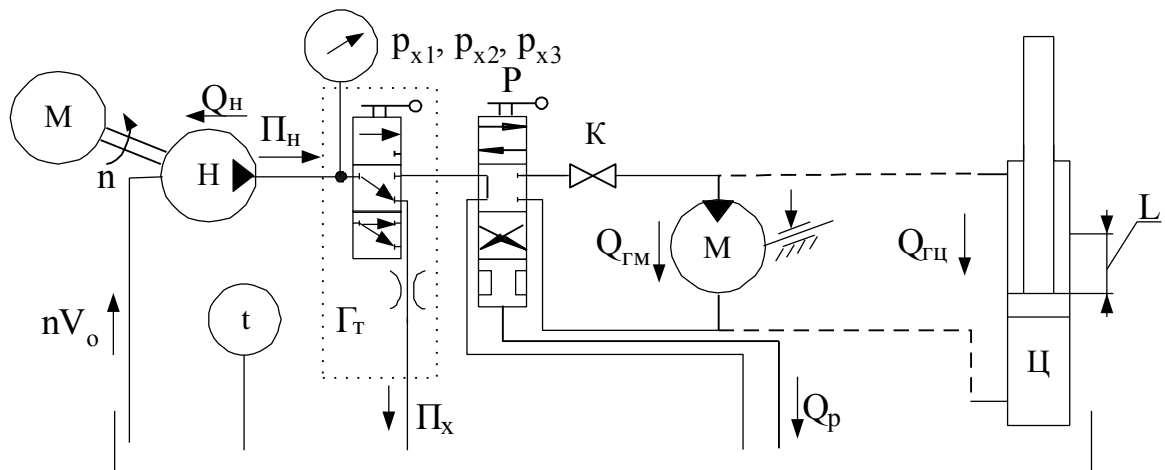


Рис.1.Схема діагностування по тиску

Графічна інтерпретація зв'язку між системами визначальних діагностичних параметрів (тиску й продуктивності) вимірюваних в одній точці гідроагрегату, представлені на рис.2.

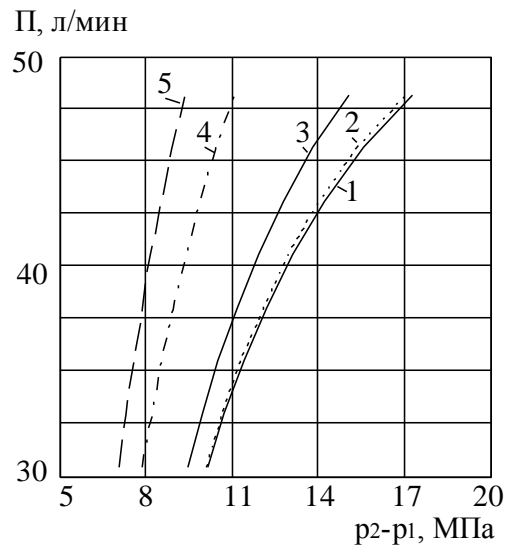


Рис.2. Залежність між визначальними діагностичними параметрами (продуктивністю й різницею тисків на вході й виході пристроїв гідроагрегату): 1 - насос; 2 - розподільник; 3, 4, 5 гідромотори з $z = 0,95, 0,8, 0,65$ відповідно.

Погрішність діагностування пристроїв гідроагрегату визначається погрішністю непрямого виміру їхніх структурних параметрів (зазорів).

Між діагностичними параметрами гідроагрегату існує кореляційний зв'язок з коефіцієнтом кореляції близьким до одиниці й, відповідно до робіт Сергєєва А.Г., Новицького П.В., Зограф І.А. і інших дослідників, відносна погрішність діагностування пристроїв визначається в цьому випадку як сума складових від діагностичних параметрів.

$$\delta S = \frac{1}{\Delta S} \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial F}{\partial X_i} \Delta X_i \right|, \quad (4)$$

де $\frac{\partial F_i}{\partial X_i}$ – частки похідні функції F_i по діагностичних параметрах; X_i – діагностичний параметр; n – кількість діагностичних параметрів;

У роботі встановлені й досліджені залежності, що визначають погрішність діагностування поагрегатною методикою, а також “по продуктивності” і “по тиску”, вимірювані в одній точці гідроагрегату. Зроблено допущення, що тиск і температура робочої рідини у всьому гідроагрегаті однакова; систематична складова погрішності вимірів діагностичних параметрів дорівнює основної погрішності засобів вимірів і технічний стан пристроїв за час діагностування не змінюється.

Необхідні залежності встановлені на основі диференціювання рівнянь, по яких виробляється діагностування пристроїв. Стосовно до *насоса* рівняння має наступний вигляд:

$$\frac{\partial F_1}{\partial n} dn - \frac{\partial F_1}{\partial p} dp - \frac{\partial F_1}{\partial t} dt - \frac{\partial F_1}{\partial \Pi_H} d\Pi_H - \frac{\partial F_1}{\partial S_m} dS_m - \frac{\partial F_1}{\partial S_p} dS_p - \frac{\partial F_1}{\partial S_M} dS_M = 0. \quad (5)$$

Якщо значення зазорів у насосі задані, то необхідна залежність, одержувана після перетворення рівняння (5) і заміни в ньому, прирощень окремих похідних по діагностичних параметрах абсолютними погрішностями їхнього виміру, має вигляд:

$$\begin{aligned} \delta S_H = \frac{\Delta S_H}{S_H} = \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial F_1}{\partial X_i} \Delta X_i \right| &= \left| \left(\frac{\partial F_1}{\partial S_H} \right)^{-1} \cdot \frac{\partial F_1}{\partial p} \Delta p \right| + \left| \left(\frac{\partial F_1}{\partial S_H} \right)^{-1} \cdot \frac{\partial F_1}{\partial n} \Delta n \right| + \left| \left(\frac{\partial F_1}{\partial S_H} \right)^{-1} \cdot \frac{\partial F_1}{\partial t} \Delta t \right| + \\ &+ \left| \left(\frac{\partial F_1}{\partial S_H} \right)^{-1} \cdot \frac{\partial F_1}{\partial \Pi_H} \Delta \Pi_H \right| = |\delta S_{Hp}| + |\delta S_{Hn}| + |\delta S_{Ht}| + |\delta S_{H\Pi}| \end{aligned} \quad (6)$$

$$\text{де } \frac{\partial F_1}{\partial S_H} = A_1 \frac{\partial F_1}{\partial S_m} + \frac{\partial F_1}{\partial S_p} + A_2 \frac{\partial F_1}{\partial S_M};$$

δS_{Hp} ; δS_{Hn} ; δS_{Ht} ; $\delta S_{H\Pi}$ – відповідно, що становлять відносної погрішності діагностування насоса від окремих діагностичних параметрів (тиску, частоти обертання насоса, температури й продуктивності);

$\Delta p=0,02p$; $\Delta n=0,02n$; $\Delta t=0,02t$; $\Delta \Pi=0,02(n_0 \eta_{ном})$ – абсолютні погрішності виміру діагностичних параметрів у випадку застосування, як того вимагають стандарти, приладів другого класу точності.

Залежність, що встановлює погрішність діагностування в умовах невизначеності значень зазорів насоса, отримана перетворенням диференціала функції F_1 (5), що виключає значення зазорів у цьому виразі

$$\begin{aligned} \delta S_H = \frac{\Delta S_H}{S_H} &= \frac{\left| \frac{\partial F_1}{\partial n} \Delta n \frac{n}{n} \right| + \left| \frac{\partial F_1}{\partial p} \Delta p \frac{p}{p} \right| + \left| \frac{\partial F_1}{\partial t} \Delta t \frac{t}{t} \right| + \left| \frac{\partial F_1}{\partial \Pi_H} \Delta \Pi_H \frac{\Pi_H}{\Pi_H} \right|}{3Q_H} = \\ &= \frac{\left| nV_0 \frac{\Delta n}{n} \right| + \left| Q_H \left(\frac{\Delta p}{p} + 1.845 \frac{\Delta t}{t} \right) \right|}{3Q_H} + \frac{\left| \Pi_H \frac{\Delta \Pi_H}{\Pi_H} \right| + K_1 \cdot \left(\frac{\Delta n}{n} + \frac{\Delta p}{p} + \frac{\Delta t}{t} \right)}{3Q_H}, \end{aligned} \quad (7)$$

де

$$K_1 = \left(4 \cdot \frac{\pi^2 n S_m^3 R_e^2 - r_1^2}{6,375 \cdot 10^4 \cdot \ln\left(\frac{R_e}{r_1}\right)} + 2 \cdot 4\pi n b S_p R_e \right) = -7,11 \cdot 10^{-7} Q_H^2 + 0,038 Q_H + 460.$$

У коефіцієнті K_1 значення зазорів виключені апроксимацією його залежністю виду $K_1 = aQ_H^2 + bQ_H + c$, де коефіцієнти a , b і c знайдені методом найменших квадратів.

Всі параметри, що містяться в рівнянні (7) (частота обертання насоса, тиск, температура, продуктивність), доступні вимірюванню діагностичною апаратурою.

Аналогічні залежності отримані для розподільників і гідромоторів при діагностуванні їх по продуктивності й по тиску, як визначальних діагностичних параметрів. Розбіжності значень погрішності діагностування, встановлених для випадків заданих і невизначених значень зазорів у пристроях, перебувають у межах від 0 до 1,5%.

По отриманих залежностях встановлено, що з погіршенням технічного стану погрішність діагностування насоса δS_n по продуктивності зменшується від 25% до 5% (зі зменшенням від коефіцієнта подачі від 0,95 до 0,6). Основний внесок у погешністі насоса вносять частота його обертання й продуктивність (до 50% кожний з цих параметрів і до 90% разом узяті). З погіршенням технічного стану складові відносної погрішності “від тиску” і “температури” робочої рідини залишаються практично постійними, а складові “від продуктивності” і “частоти обертання” δS_{nn} насоса зменшуються. При діагностуванні розподільника “по тиску”, систематична складова погрішності від цього параметра виключається, як і в попередньому випадку. Тому погрішність його діагностування становить близько 3%.

При діагностуванні гідромотора “по продуктивності” і “по тиску”, виміром їх в одній точці гідроагрегату, виходить аналогічна закономірність формування погрішності й загальне її значення близько 3%.

Отримані рівняння для визначення погрішності діагностування пристроїв гідроагрегату і її складових дозволяють установити раціональний по погрішності й вартості комплект засобів вимірів діагностичних параметрів. Для знаходження цього комплекту були встановлені система обмежень і цільова функція.

Система обмежень визначається з умови, щоб погрішність діагностування пристроїв не перевершувала припустимого значення

$$\sum \left| \frac{\partial F_i}{\partial X_i} \Delta X_i \right| \leq \delta S \quad (8)$$

де ΔX_i - значення погрішностей засобів вимірів, застосування яких можливо в польових умовах (0,06...0,005).

Цільова функція визначає мінімальне значення вартості засобів вимірів, що забезпечують погрішність, що задається системою обмежень (8)

$$\sum C_i \delta_i = c_i \cdot \delta_i \rightarrow \min, \quad (9)$$

де $C_i(x_i)$, c_i – відповідно вартість засобу виміру і-того діагностичного параметра й коефіцієнт при δ_i .

При використанні залежностей (8 і 9), необхідно встановити значення припустимої погрішності діагностування $[\delta S]$ і вартість засобів вимірів діагностичних параметрів залежно від їхніх погрішностей (класу точності) $C_i(x_i)$;

Погрішність діагностування $[\delta S]$ вважається припустимою, якщо вона визначена, як того вимагають стандарти, при однаковій погрішності виміру діагностичних параметрів ($\delta=0,02$).

Вартість засобів вимірів залежно від їхніх погрішностей (класу точності) $C_i(x_i)$ отримана на основі вивчення літературних джерел, каталогів цін.

Раціональний комплект засобів вимірів був встановлений за критерієм вартості за допомогою використання розробленої програми на ЕОМ. Розрахунки по цільовій функції (9) показали, що його вартість на 16% менше при діагностуванні по продуктивності й в 2,3 рази при діагностуванні по тиску в порівнянні зі стандартним комплектом.

У **третьому розділі** - проведені експериментальні дослідження погрішності діагностування з урахуванням впливу на неї невідтворюваності гідроагрегату. Невідтворюваність параметрів гідроагрегату в процесі його роботи визначається впливом температури, вібрації, навколишнього середовища й т.п. Цей вплив викликають, поряд з технічним станом, зміна параметрів пристроїв і визначається експериментально.

Для оцінки впливу невідтворюваності гідроагрегату на отримані теоретичні результати розроблені: методика експериментальних досліджень; необхідне для проведення експериментальні дослідження устаткування й зроблено аналіз отриманих результатів.

Методика експериментальних досліджень розроблена на основі отриманих рівнянь для визначення погрішності діагностування пристроїв гідроагрегату в умовах невизначеності значень їхніх зазорів. Використовуючи загальноприйнятну методику експериментальних досліджень, визначалася

дисперсія, погрішність визначального діагностичного параметра й загальна погрішність діагностування з урахуванням невідтворюваності гідроагрегату.

Попередньо були проведені порівняльні дослідження невідтворюваностей гідроагрегату на тракторі Т-150 і гідроагрегату цього трактора, встановленого в стаціонарних умовах у вигляді стенда. В обох випадках температура робочої рідини встановлювалася 50°C . У цих умовах при температурі навколишнього середовища $+25^{\circ}\text{C}$ невідтворюваність гідроагрегату збільшує на стенді відносну погрішність виміру діагностичного параметра (продуктивності) з 2% за паспортним даними витратоміра до 3% і на машині до 3,7%. При температурі навколишнього середовища -16°C погрішність збільшувалася до 3,6%. Відмінність впливу на погрішність невідтворюваності гідроагрегату на машині й стенді становить 0,7...0,6%, що дозволяє використати стенд для експериментального дослідження бортових засобів діагностування.

Для проведення досліджень було розроблено бортове діагностичне устаткування, що включає гідротестер і гідрокрани. Гідротестер має три робочих стани, що забезпечують: вільний прохід робочої рідини до розподільника; напрямок усього потоку робочої рідини до дроселя постійного перетину; одночасне надходження робочої рідини до розподільника й дроселя постійного перетину.

Проведеними дослідженнями встановлено, що невідтворюваність гідроагрегату змінює погрішність діагностування пристроїв у порівнянні з теоретичними значеннями:

погрішність діагностування насоса “по продуктивності” і “по тиску”, зростає від 7...19% до 9...22%, збільшуючись на 2...3%;

погрішність діагностування “по продуктивності” гідромоторів збільшує своє значення від 2 до 3...8%, зростаючи на 1...6%, погрішність діагностування “по тиску” збільшується на 1...2%.

У **четвертому розділі** – представлені практичні рекомендації з конструкції й експлуатації бортової діагностичної системи й зроблена оцінка економічної ефективності досліджень.

Дослідженнями було показано, що установка гідротестера безпосередньо на вхід розподільника або конструктивне його об'єднання з розподільником скорочує необхідну кількість елементів бортового діагностичного устаткування.

Бортове діагностування з мікропроцесором, що реалізує результати проведених наукових досліджень, дає на кожну машину економічний ефект у рік 1000...1200 грн у порівнянні з існуючими методами діагностування.

ВИСНОВКИ

1. Дослідження на основі рівняння витрати робочої рідини в гідроагрегаті зв'язку між структурними й діагностичними параметрами пристроїв дозволило

встановити систему визначальних діагностичних параметрів для бортового діагностування й можливість одержання цієї системи в “одній точці” гідроагрегату. Діагностування пристроїв гідроагрегату виміром визначального параметра одним засобом, в “одній точці” гідроагрегату дозволяє скоротити кількість і вартість бортового устаткування і, внаслідок цього, найбільш перспективними для гідроагрегатів БДМ.

2. Отримані аналітичні залежності дозволили встановити взаємозв'язок між структурними й діагностичними параметрами стосовно до бортової системи діагностування гідроагрегату з однієї точки.

3. Між діагностичними параметрами гідроагрегату існує кореляційний зв'язок з коефіцієнтом кореляції близьким до одиниці й, внаслідок цього, загальна погрішність діагностування пристрою визначається як сума складових від діагностичних параметрів. Встановлені аналітичні залежності визначають кількісні закономірності формування погрішності діагностування в умовах невизначеності значень зазорів у пристроях гідроагрегату і якщо ці зазори задані. Розбіжність одержуваних при цьому значень погрішності перебуває в межах від 0 до 1,5%.

4. “Поагрегатна” методика діагностування, вимагає великої кількості устаткування, засобів вимірів, спеціальних навантажувачів, дає найбільшу погрішність і має в 2...3 рази більшу вартість, чим інші досліджені методики. Методика діагностування “по продуктивності” має найменшу погрішність, але поступається діагностуванню “по тиску” за вартістю здійснюючого його устаткування на величину вартості засобу виміру витрати. Вартість засобу виміру витрати становить до 90% від загальної вартості всіх засобів вимірів діагностичних параметрів.

5. При діагностуванні “по тиску” погрішність і її складові зростають у міру погіршення технічного стану пристрою гідроагрегату з 3 до 9%.

6. Дослідження закономірностей формування погрішностей діагностування і їхніх складових дозволило за критерієм вартості встановити раціональний комплект засобів вимірів. За рахунок такого комплектування вартість його знижується на 16% при діагностуванні “по продуктивності” і в 2,3 рази при діагностуванні “по тиску” у порівнянні зі стандартним комплектом, що складається із засобів вимірів однакового (другого) класу точності.

7. Невідтворюваність гідроагрегату змінює погрішність діагностування пристроїв у порівнянні з теоретичними значеннями в такий спосіб:

погрішність діагностування насоса “по продуктивності” і “по тиску”, зростає від 7...19% до 9...22%, збільшуючись на 2...3% ;

погрішність діагностування “по продуктивності” гідромоторів збільшує своє значення від 2 до 3...8%, зростаючи на 1...6%, погрішність діагностування “по тиску” збільшується на 1...2%.

8. Бортове діагностування з мікропроцесором, що реалізує результати проведених наукових досліджень, дає на кожну машину економічний ефект у рік 1000...1200 грн у порівнянні з існуючими методами діагностування.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Кириченко И. Г., Пимонова Т.Г., Пимонов И. Г. Диагностические параметры для стационарных стендов // Автомобильный транспорт: серия “Совершенствование машин для земляных и дорожных работ”, сборник научных трудов. - Харьков: РИО ХНАДУ. - 1999– вып. 2. С. 63 – 69.
2. Пимонова Т.Г., Пимонов И. Г. Направления совершенствования диагностирования гидроприводов мобильных машин // Автомобильный транспорт: сборник научных трудов. – Харьков: РИО ХНАДУ. - 2001– вып. 6.С. 66 – 68.
3. Лысиков Е. Н., Пимонов И. Г. Бортовая система диагностирования гидроприводов мобильных машин // Вісник Харківського державного політехнічного університету.-Харків: ХДПУ, 2000. - вып. 78. – С. 19– 20.
4. Лысиков Е.Н., Пимонов И. Г. Преимущества бортового диагностирования гидроприводов с одной точки измерения // Вісник Харківського національного технічного університету “ХПІ”. –Харків: НТУ”ХПІ”, -2002. - вып. 10, том 1 – С. 124– 129.
5. Пимонов И. Г. Обеспечение точности бортового диагностирования гидроприводов строительных машин // Автомобильный транспорт: серия “Совершенствование машин для земляных и дорожных работ”, сборник научных трудов. – Харьков: РИО ХНАДУ. - 2003– вып. 11.С. 90 – 93.

АНОТАЦІЯ

Пимонов Ігор Георгійович. Підвищення ефективності експлуатації гідроагрегатів будівельних і дорожніх машин удосконалюванням бортового діагностування. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.05.17 - гідравлічні машини й гідропневмоагрегати. - Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, 2006.

Дисертація присвячена питанню підвищення ефективності експлуатації будівельних і дорожніх машин удосконалюванням діагностування їхніх гідроагрегатів. Дослідження зв'язку між структурними й діагностичними параметрами дозволило встановити: властивості й закономірності, що формують вартість і погрішність бортового діагностування; систему визначальних діагностичних параметрів вимірюваних в “одній точці” гідроагрегату; виключити витратомір з комплекту засобів вимірів і використати стандартні нормативи технічного стану пристроїв гідроагрегату при діагностуванні по тиску. Встановлено залежності, що визначають погрішність діагностування і їхні складові в умовах невизначених і заданих значень зазорів у пристроях гідроагрегату. На їхній основі за критерієм

вартості встановлений раціональний комплект засобів вимірів. Встановлено вплив невідтворюваності гідроагрегату на погрішність діагностування пристрою й визначена економічна ефективність проведених наукових досліджень.

Ключові слова: будівельні й дорожні машини, гідроагрегат, бортове діагностування.

АННОТАЦИЯ

Пимонов Игорь Георгиевич. Повышение эффективности эксплуатации гидроагрегатов строительных и дорожных машин совершенствованием бортового диагностирования. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.17 – гидравлические машины и гидропневмоагрегаты. – Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Харьков, 2006.

Диссертация посвящена вопросу повышения эффективности эксплуатации строительных и дорожных машин совершенствованием диагностирования их гидроагрегатов. Исследование связи между структурными и диагностическими параметрами позволило установить: свойства и закономерности, формирующие стоимость и погрешность бортового диагностирования; систему определяющих диагностических параметров измеряемых в “одной точке” гидроагрегата; исключить расходомер из комплекта средств измерений и использовать стандартные нормативы технического состояния устройств гидроагрегата при диагностировании по давлению. Установлены зависимости, определяющие погрешность диагностирования и их составляющие в условиях неопределённых и заданных значений зазоров в устройствах гидроагрегата. На их основе по критерию стоимости установлен рациональный комплект средств измерений. Установлено влияние невоспроизводимости гидроагрегата на погрешность диагностирования устройства и определена экономическая эффективность проведенных научных исследований.

Ключевые слова: строительные и дорожные машины, гидроагрегат, бортовое диагностирование.

ANNOTATION

Pimonov Igor Georgievich. Increase in operational efficiency of hydro drives for construction and road machines by improving the onboard diagnostics. - Manuscript.

Thesis for the scientific degree of the Candidate of Engineering Sciences in speciality 05.05.17 - hydraulic machines and hydropneumatic devices. - National Technical University "Kharkov polytechnical institute", Kharkov, 2006.

The thesis considers the issue of increase in efficiency for construction and road machines by improving the way their hydro drives are diagnosed. The investigation into structural-diagnostic parametrical correlation enabled to determine properties and regularities that form the cost and the error of onboard diagnostics; the system of principal diagnostic parameters measured at "one point" on the hydro drive; to exclude the consumption-rate meter out of the package of measuring tools; to employ established standards for the technical state of hydraulic units during their pressure diagnostics. Dependencies have been revealed that determine the diagnostic error and its components at non-defined and given values of clearances in hydro drives. On the basis of these dependencies, a rational package of measuring tools has been established in accordance with the cost criterion. The effect of hydro drive non-reproducibility on the diagnostic error for hydraulic units has been specified. The economic efficiency of the scientific research conducted has been evaluated.

Key words: construction and road machines, hydro drive, onboard diagnostics.